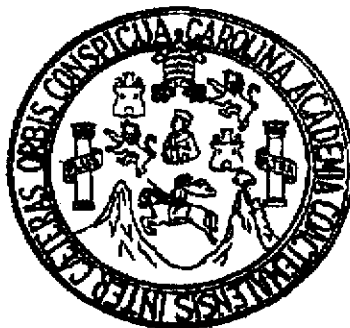


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR
EN LAS ALDEAS DE HUITÉ, ZACAPA**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE ANTONIO SÚCHITE FRANCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1998

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08

T(4384)

C. 4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la
Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su
consideración mi trabajo de tesis titulado:

**APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR
EN LAS ALDEAS DE HUITÉ, ZACAPA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con
fecha 11 de marzo de 1998.



Jorge Antonio Sáchite Franco

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL I:	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL III:	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL IV:	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL V:	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIA:	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADOR:	Ing. Luis Arturo González López
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
SECRETARIA:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

Guatemala, 15 de junio de 1998

Ingeniero
José Luis Herrera Gálvez
Coordinador del Área de Electrotecnia.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Herrera:

De conformidad a la designación que me hiciera, he realizado la asesoría del trabajo de tesis titulado **APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR EN LAS ALDEAS DE HUITÉ, ZACAPA**, elaborado por el estudiante universitario **JORGE ANTONIO SÚCHITE FRANCO**, con carnet # 9112396, como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Mecánico Electricista.

Luego de revisar el contenido y verificar la consistencia de los temas expuestos, recomiendo la aprobación del presente trabajo. Por lo anterior, mucho le agradecería revisar el trabajo que se adjunta, a fin de dar su visto bueno, para que el estudiante Jorge Antonio Súchite Franco pueda someterse al examen de tesis respectivo.

Las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo son responsabilidad únicamente del Autor y Asesor.

Atentamente,



Ing. Francisco Tzirín Jocholá

asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 6 de julio de 1,998

Señor Director
Ing. Roberto Urdiales Contreras
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado:
Aplicaciones de la energía solar en las aldeas de Huité, Zacapa,
elaborado por el señor Jorge Antonio Súchite Franco, considerando que
cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Luis Herrera Gálvez
Coordinador Área Electrotecnia

JLHG/sdem.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Jorge Antonio Súchite Franco, titulada: Aplicaciones de la energía solar en las aldeas de Huité, Zacapa, procede a la autorización del mismo.

Ing. Roberto Urdiales Contreras
Director

Guatemala, 31 de agosto de 1,998.

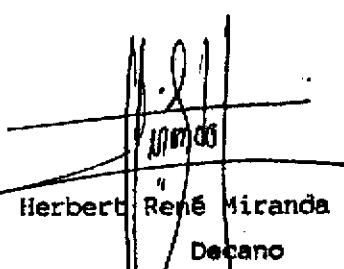




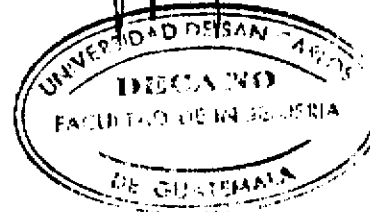
FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Aplicaciones de la energía solar en las aldeas de Huité, Zacapa, del estudiante Jorge Antonio Súchite Franco, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
Decano

Guatemala, 30 de octubre de 1,998.



AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi Hacedor por ayudarme a alcanzar esta meta propuesta en mi vida, reconozco que él me da la fuerza, la salud, y la inteligencia. Me es precioso confiar en él, porque su promesa dice:

Jehová te pondrá por cabeza, y no por cola; y estarás encima solamente, y no estarás debajo, si obedecieres los mandamientos de Jehová tu Dios, que yo te ordéno hoy, para que los guardes y cumplas.

Gracias te doy Señor por darme unos padres sobreamorosos, que me ayudan en los momentos más difíciles, nunca me abandonan, siempre me sustentan con lo material y lo espiritual.

Cuán grande es tu amor para la humanidad, me encontraba muerto en delitos y pecados; pero un día al abrir mi corazón tú entraste, me perdonaste, y me salvaste de la condenación venidera.

Porque de tal manera amó Dios al mundo, que ha dado a su único hijo, para que todo aquel que en él cree, no se pierda, mas tenga vida eterna.

Agradezco al personal de Plan Internacional por ayudarme en la elaboración de esta investigación, especialmente a Mauro Cardona y Samuel Vásquez. También expreso mi gratitud a mi amigo y asesor de esta investigación, Ing. Francisco Tzirín.

DEDICATORIA

A:

MIS PADRES:

Clelia Ileana Franco de SÚchite y Jorge Manuel SÚchite Díaz.

Después de tanto sacrificio que hicieron para darme la posibilidad de estudiar, ahora les entrego esta victoria. Los amo mucho y le pido a Dios que todos los días los bendiga ricamente.

A MI HERMANO:

Hugo Leonel SÚchite Franco.

A quien le deseo éxitos en sus labores.

A MI ABUELITA:

María Delia Díaz de SÚchite.

Con mucho cariño.

A TODA MI FAMILIA,

Con mucho aprecio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	IX
INTRODUCCIÓN	X
1. CELDAS Y MÓDULOS SOLARES	1
1.1 Teoría sobre semiconductores	1
1.1.1 Impurezas donadoras y aceptadoras	1
1.1.1.1 Donadores	1
1.1.1.2 Aceptadores	3
1.1.2 Unión <i>p-n</i> en circuito abierto	5
1.1.2.1 Región de la carga espacial	5
1.1.2.2 Intensidad del campo eléctrico	7
1.1.2.3 Potencial	7
1.2 Efecto fotoeléctrico	8
1.3 Fotoconductores	11
1.4 Celdas solares	12
1.5 El módulo solar	16
1.5.1 Efecto de la insolación	18
1.5.2 Efecto de la temperatura	18
1.5.3 Parámetros importantes	19
1.6 Arreglos de módulos solares	21
1.7 Orientación del conjunto fotovoltaico	22

1.7.1	Captador fijo	22
1.7.2	Captadores con seguimiento solar	23
1.7.2.1	Ángulo variable a lo largo del año	23
1.7.2.2	Ángulo polar variable a lo largo del día	23
1.7.2.3	Ángulo polar y azimutal variable	23
2.	DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA	24
2.1	Solarimetría	24
2.2	Radiación y brillo solar en Guatemala	26
2.3	Sección de climatología	28
2.4	Configuración básica de un sistema solar	28
2.4.1	Los bancos de batería	30
2.4.1.1	Eficiencia	30
2.4.1.2	Capacidad	31
2.4.1.3	Evaluación	32
2.4.1.4	Mantenimiento	33
2.4.2	El control de carga	33
2.5	Dimensionamiento básico de un sistema fotovoltaico	36
2.5.1	Efecto del nivel de radiación (Horas-Pico)	37
2.5.2	Efecto de las características de las cargas de consumo	37
2.5.3	Tiempo de uso de las cargas	38
2.5.4	Efecto de la distancia del acumulador a las cargas	39
2.6	Instalación del sistema	42
3.	LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	44
3.1	Tipos de módulos solares	44
3.2	Tipos de controles de carga	49

4.	LA EVOLUCIÓN DE LOS PROYECTOS COMUNITARIOS	53
4.1	Metodología	53
4.2	Antecedentes	53
4.3	El proyecto piloto	54
4.4	Los proyectos de donación	54
4.5	Hacia un programa de crédito	55
4.6	Los proyectos de crédito parcial	55
4.7	Crédito completo	56
	4.7.1 Prospección de las comunidades	56
	4.7.2 Descripción del equipo	57
4.8	Lecciones aprendidas	57
5.	GUÍA OPERATIVA PARA EJECUTAR PROYECTOS DE I.F.V. APOYADO POR PLAN INTERNACIONAL Y FUNDACIÓN SOLAR	60
5.1	Fase de pre-ejecución	61
	5.1.1 Prospección técnica	61
	5.1.2 Prospección organizacional	63
	5.1.3 Promoción	65
5.2	Fase de ejecución	65
	5.2.1 Diseño técnico del proyecto	65
	5.2.2 Licitación del proyecto	66
	5.2.2.1 Envío de solicitudes de oferta	66
	5.2.2.2 Concurso para asignación de ganador	66
	5.2.2.3 Notificaciones posteriores	67
	5.2.3 El contrato	67
	5.2.4 Capacitación técnico-administrativa	67
	5.2.4.1 Organización de los subcomités	67

5.2.4.2	Capacitación de los subcomités	68
5.3	Fase post-ejecución	68
5.3.1	Auditoría técnica de la instalación	68
5.3.2	Visitas del instalador	69
5.3.3	Seguimiento anual	69
6.	PROYECTO DE ILUMINACIÓN F.V. DE LA COMUNIDAD SAN MIGUEL	70
6.1	Fase de pre-ejecución	70
6.1.1	Selección de la comunidad	70
6.1.1.1	Información técnico-organizacional	70
6.2	Fase de ejecución	72
6.2.1	Diseño técnico del proyecto	72
6.2.2	Licitación del proyecto	73
6.2.3	Contrato	74
6.3	Fase de post-ejecución	75
6.3.1	Auditoría técnica de la instalación	75
6.3.2	Informe actual	75
7.	PROYECTO DE ILUMINACIÓN F.V. DE LA COMUNIDAD EL JUTE	79
7.1	Fase de pre-ejecución	79
7.1.1	Selección de la comunidad	79
7.1.1.1	Información técnico-organizacional	79
7.2	Fase de ejecución	81
7.2.1	Diseño técnico del proyecto	81
7.2.2	Licitación del proyecto	82
7.2.3	Contrato	83

7.3	Fase de post-ejecución	84
7.3.1	Auditoría técnica de la instalación	84
7.3.2	Informe actual	85
8.	PROYECTO DE ILUMINACIÓN F.V. DE LA COMUNIDAD LA OSCURANA	89
8.1	Fase de pre-ejecución	89
8.1.1	Selección de la comunidad	89
8.1.1.1	Información técnico-organizacional	89
8.2	Fase de ejecución	91
8.2.1	Diseño técnico del proyecto	91
8.2.2	Licitación del proyecto	92
8.2.3	Contrato	93
8.3	Fase de post-ejecución	94
8.3.1	Auditoría técnica de la instalación	94
8.3.2	Informe actual	94
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	101
	FUENTES	103
	BIBLIOGRAFÍA	104
	ANEXO 1	106
	ANEXO 2	108
	ANEXO 3	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Nombre	Página
1	Impurezas de antimonio en un material tipo n	2
2	Diagrama de bandas de energía de un semiconductor de germanio tipo n	2
3	Impurezas de boro en un material tipo p	3
4	Diagrama de bandas de energía de un semiconductor de germanio tipo p	4
5	Diagrama esquemático de una unión $p-n$, incluyendo la densidad de carga, la intensidad de campo eléctrico y la barrera de energía potencial en la unión	6
6	Experimento fotoeléctrico	9
7	Fotoexcitación en los semiconductores	11
8	Celda solar	12
9	Corriente de corto circuito y voltaje en circuito abierto versus intensidad luminosa para una celda solar	13
10	Voc e Isc versus intensidad luminosa para una celda solar	14
11	Respuesta espectral del Se, Si y la visión	15
12	El módulo solar	16
13	Curva corriente-voltaje de un módulo solar fotovoltaico	17
14	Curva corriente-voltaje a diferentes insolaciones	18

15	Curva corriente-voltaje a diferentes temperaturas de la celda solar	19
16	Tipos de insolación	25
17	Configuración esquemática de un sistema fotovoltaico a batería	29
18	Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico a baterías	34
19	Módulos solares SIEMENS	44
20	Módulos solares SIEMENS	45
21	Módulos solares SIEMENS	46
22	Módulos solares KYOCERA	47
23	Módulos solares SOLAREX	48
24	Controles de carga SCI	49
25	Controles de carga SUNAMP POWER	50
26	Control de carga TRACE	52

TABLAS

No.	Nombre	Página
I	Especificaciones de un módulo solar de 48 watts	21
II	Inclinación de los paneles respecto a su ubicación	22
III	Solarimetría en Guatemala	26
IV	Climatología de oriente	28
V	Valores típicos de operación del sistema fotovoltaico	36
VI	Tabla de conductores para las conexiones de los sistemas de I.F.V.	40
VII	Características de los módulos solares SIEMENS	45
VIII	Características de los módulos solares SIEMENS	46
IX	Características de los módulos solares SIEMENS	47
X	Características de los módulos solares KYOCERA	48
XI	Características de los módulos solares SOLAREX	49
XII	Características de los controles de carga SCI	50
XIII	Características de los controles de carga SUNAMP POWER	51
XIV	Características de los controles de carga TRACE	52
XV	Evaluación de los sistemas de I.F.V. de San Miguel	76
XVI	Evaluación de los sistemas de I.F.V. de San Miguel	77
XVII	Evaluación de los sistemas de I.F.V. de El Jute	86
XVIII	Evaluación de los sistemas de I.F.V. de El Jute	87
XIX	Evaluación de los sistemas de I.F.V. de La Oscurana	95
XX	Evaluación de los sistemas de I.F.V. de La Oscurana	97

GLOSARIO

Anodizado	Cargado electropositivamente.
Climatología	Ciencia que estudia los climas.
Colaborador	Persona de la comunidad que aporta ayuda a los facilitadores de Plan Internacional.
Electrolito	Sustancia que permite las reacciones electroquímicas entre un ánodo y un cátodo.
Facilitador	Persona de Plan Internacional que orienta a una comunidad en el desarrollo de los proyectos comunitarios.
Fotón	Partícula elemental de la luz con determinada longitud de onda.
Insolación	Energía solar medida por unidad de tiempo y área.
Insolación pico	Sucede cuando la insolación alcanza 1 Kw/m ² .
Clinómetro	Medidor de la inclinación de un objeto.
Latitud	Distancia de un punto de la superficie terrestre al ecuador, medida en grados de meridiano.
Longitud	Distancia de un lugar de la superficie terrestre al meridiano cero, medida en grados de paralelo.
Poliéster	Plástico artificial.
Solarimetría	Ciencia que se encarga de la medición de la energía solar.
U.S. national electrical codes	Códigos eléctricos nacionales de los Estados Unidos.
Winrock International	Programa de energía renovable para Centro América.

INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones de la energía solar cobran auge cada día más, existen organizaciones de desarrollo promoviendo el uso de ésta. La razón es que es un recurso renovable, sin costo, disponible en cualquier parte de Guatemala; que sacándole provecho resuelve muchos problemas que son casi prohibitivos económicamente de resolver por los recursos tradicionales.

Las tesis realizadas sobre energía solar dejan enseñanzas muy teóricas sobre el tema, hablan sobre aplicaciones muy resumidas llevadas a cabo en EE.UU., Japón o Francia; y de algún proyecto elaborado teóricamente para ser aplicado en una área aislada, el cual se desconoce su resultado.

En la presente tesis se presenta un estudio detallado de la aplicación de la energía solar en Guatemala, para ello se describen cómo son abastecidas las comunidades rurales aisladas por medio del uso de paneles fotovoltaicos. Ésto se consigue a través de las ayudas que ofrece Plan Internacional en estrecha colaboración con Fundación Solar.

Se describen las etapas de pre-ejecución, ejecución, y post-ejecución de los proyectos de iluminación fotovoltaica en las comunidades San Miguel, El Jute, y La Oscurana, pertenecientes al municipio de Huité, Zacapa.

Para completar la investigación se realiza un informe actual sobre las bases en las que descansa la sostenibilidad de los proyectos de iluminación fotovoltaica en dichas comunidades, y luego poder concluir y recomendar sobre el uso de esta tecnología en estos proyectos.

Lo que se pretende es que el lector pueda conocer de una manera real esta tecnología, dándole a conocer aspectos, tales como: prospecciones, cálculo, descripción ilustrativa del equipo, costo de los proyectos, etc.

1. CELDAS Y MÓDULOS SOLARES

1.1 Teoría sobre semiconductores

1.1.1 Impurezas donadoras y aceptadoras

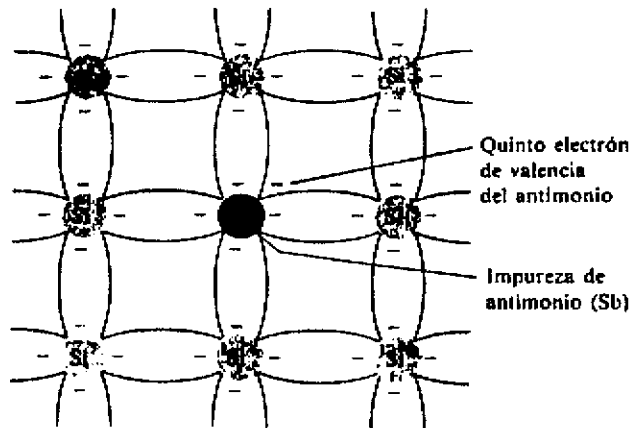
Si a un semiconductor intrínseco, como el silicio o el germanio, se le añade un pequeño porcentaje de átomos trivalentes o pentavalentes, se transforma en un semiconductor dopado, impuro o extrínseco. (15.24)

1.1.1.1 Donadores

Si la impureza tiene cinco electrones de valencia, se obtiene la estructura cristalina de la fig. 1. Los átomos de la impureza desplazan algunos átomos de germanio del cristal. Cuatro de los cinco electrones de valencia ocupan enlaces covalentes, y el quinto queda inicialmente sin enlace y constituye un portador de corriente. La energía necesaria para desligar este quinto electrón del átomo, es del orden de sólo 0.01 eV para el Ge o 0.05 para el Si. Las impurezas pentavalentes que se emplean son antimonio, fósforo y arsénico; éstas producen un exceso de electrones portadores (negativos), y se les denomina donadoras o del tipo *n*.

Cuando se agrega un donador a un semiconductor, aparecen niveles de energía permitidos a muy poca distancia de la banda de conducción, tal como indica la fig. 2. Estos nuevos niveles permitidos son fundamentalmente discretos debido a que los átomos de impureza añadidos están muy alejados en la estructura del cristal, y por lo tanto, su interacción es pequeña.

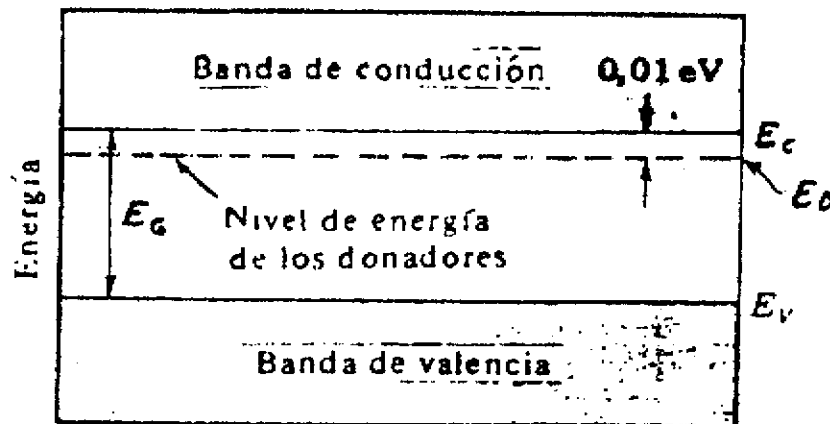
Fig.1 Impureza de antimonio en un material tipo n



Fuente: Boylestad y Nashelsky. *Electrónica*. p. 8.

La distancia del nuevo nivel de energía donante E_D está muy cerca de la banda de conducción, y por lo tanto, a la temperatura ambiente casi todos los quintos electrones del material donador pasan a la banda de conducción.

Fig. 2 Diagrama de bandas de energía de un semiconductor de germanio tipo n



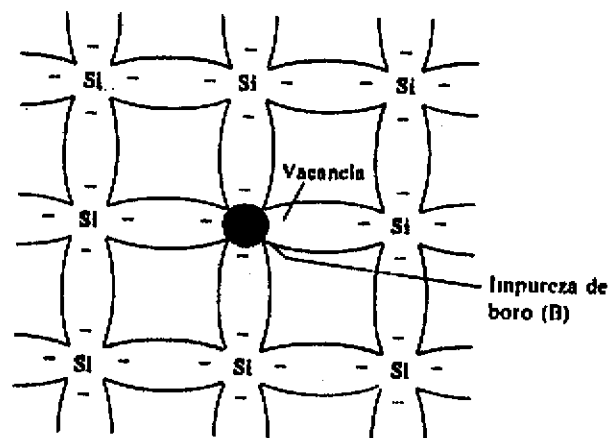
Fuente: Millman y Halkias. *Electrónica integrada*. p. 25.

Si un material semiconductor intrínseco se droga con impurezas del tipo n , no sólo aumenta el número de electrones, sino que también el número de huecos disminuye por debajo del que tiene el semiconductor intrínseco. La razón de este decrecimiento de huecos se debe al gran número de electrones presentes que aumentan la velocidad de recombinación de los huecos con los electrones. (15.25-26)

1.1.1.2 Aceptadores

Si se añade una impureza trivalente (boro, galio o indio) a un semiconductor intrínseco, sólo se pueden completar tres de los enlaces covalentes, y la ausencia correspondiente al cuarto enlace constituye un hueco. Esta situación queda reflejada en la fig. 3. Tales impurezas posibilitan portadores positivos, ya que crean huecos que pueden aceptar electrones, y por lo tanto son conocidas con el nombre de aceptadores, o impurezas de tipo p .

Fig. 3 Impurezas de boro en un material tipo p

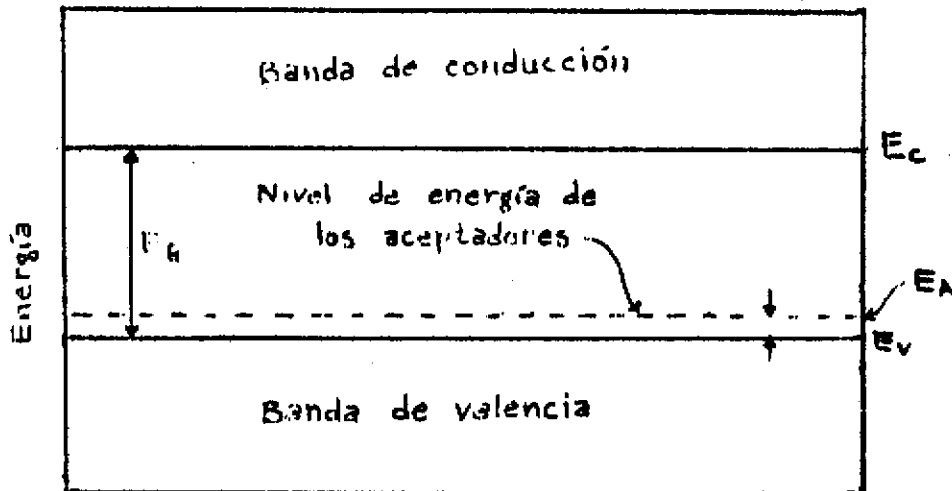


Fuente: Boylestad y Nashelsky. *Electrónica*. p. 9.

La cantidad que de ellas se debe agregar para tener un efecto apreciable en la conductividad es verdaderamente pequeña. Por ejemplo, si se agregan impurezas del tipo donador en una proporción del 1 por 10^8 , la conductividad del germanio a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ viene multiplicada por 12.

Cuando se agregan impurezas aceptadoras, o sea de tipo p , al semiconductor intrínseco, se engendra un nivel discreto de energía permitida que está justamente por encima de la banda de valencia, tal como muestra la fig. 4. Se precisa una cantidad muy pequeña de energía para que un electrón deje la banda de valencia y ocupe el nivel de energía aceptador E_A , generando así, huecos en la banda de valencia debido a los electrones que la abandonan. El resultado es un elevado número de portadores en el material semiconductor. (15.26)

Fig. 4 Diagrama de bandas de energía de un semiconductor de germanio tipo p



Fuente: Millman y Halkias. *Electrónica integrada*. p. 26.

1.1.2 Unión $p-n$ en circuito abierto

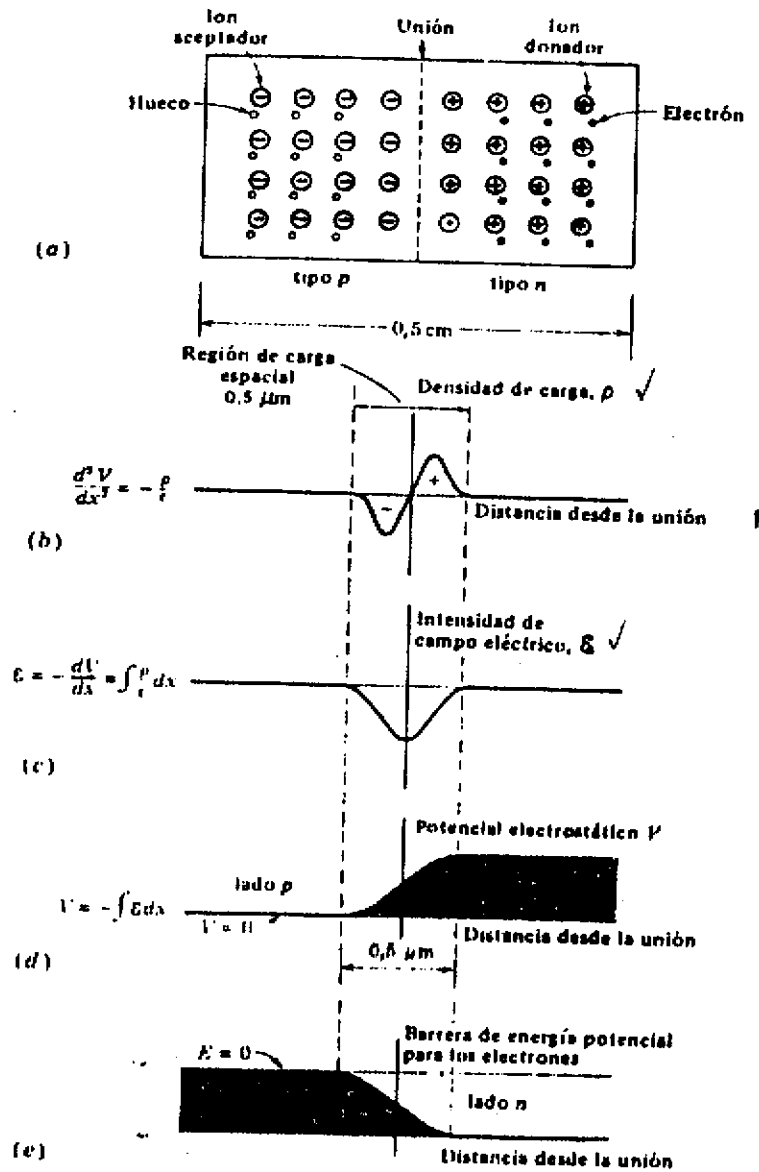
Si en un lado de un cristal semiconductor se introducen donadores y en el otro lado aceptadores, queda constituida una unión $p-n$, tal como indica el inciso a de la figura 5. El ion donador se representa por un signo más, ya que, después de que este átomo de impureza haya dado un electrón, se transforma en un ion positivo. El ion aceptador está indicado con un signo menos debido a que, después de aceptar este átomo un electrón, se transforma en un ion negativo. Inicialmente, sólo hay portadores del tipo p a la izquierda de la unión, y portadores del tipo n a la derecha. (15.49)

1.1.2.1 Región de la carga espacial

Debido a la existencia de un gradiente de concentración a través de la unión, los huecos se difunden hacia la derecha atravesando la unión, y los electrones hacia la izquierda. Así pues, los huecos que neutralizan los iones aceptadores en las proximidades de la unión en el silicio del tipo p , desaparecen como resultado de la combinación con los electrones que se difunden a través de la unión. De forma parecida, los electrones neutralizantes del silicio tipo n se combinan con los huecos que atraviesan la unión desde el material tipo p .

Los iones no neutralizados en las cercanías de la unión se conocen con el nombre de cargas descubiertas. La forma general de la densidad de carga (inciso b de la figura 5) depende de la forma en que el diodo esté drogado. Como la región de la unión no contiene cargas móviles, se le denomina región de desviación de carga espacial o de transición. La anchura de esta región es del orden de la longitud de onda de la luz visible (0.5 micrómetros). En el interior de esta sumamente estrecha franja de carga espacial no existen portadores móviles.

Fig.5 Diagrama esquemático de una unión *p-n*, incluyendo la densidad de carga, la intensidad de campo eléctrico y la barrera de energía potencial en la unión



Fuente: Millman y Halkias. *Electrónica integrada*. p. 50.

Como la energía potencial es igual al potencial por la carga, la curva (d) es proporcional a la energía potencial de un hueco (carga positiva) y la curva de (e) es proporcional a la negativa de la de (d) (un electrón es una carga negativa). (15.49-50)

1.1.2.2 Intensidad del campo eléctrico

La densidad de carga espacial es cero en la unión, a la derecha es positiva y a la izquierda negativa. Esta distribución constituye una capa eléctrica dipolar, que tiene líneas de flujo de derecha a izquierda, y que corresponde a una intensidad de campo negativa \mathcal{E} ; como se señala en el inciso c de la figura 5. El equilibrio se establece cuando el campo es lo suficientemente fuerte como para contrarrestar el proceso de difusión. La curva de intensidad de campo es proporcional a la integral de la curva de la densidad de carga. Esta condición se deduce de la ecuación de Poisson:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon}$$

Integrando la ecuación y recordando que $\mathcal{E} = -\frac{dV}{dx}$ tendremos:

$$\mathcal{E} = \int_{x_0}^x \frac{\rho}{\epsilon} dx \quad (15.51)$$

1.1.2.3 Potencial

En el inciso d de la figura 5 se observa la variación del potencial electrostático en la región de transición, y es la integral negativa de la función \mathcal{E} del inciso c de la misma figura. Esta variación constituye una barrera de energía potencial opuesta a la prosecución de la difusión de huecos a través de la barrera. En el inciso e de la figura 5 se muestra la forma de la barrera de la energía potencial contra la fluencia de electrones del lado n a través de la unión. Es similar a la que aparece en el inciso d de la misma figura, pero invertida, ya que la carga de los electrones es negativa. (15.51)

1.2 Efecto fotoeléctrico

Se encuentra que los electrones pueden ser extraídos de los metales por los siguientes mecanismos:

1. Emisión termoiónica (el efecto Edison): los electrones son emitidos por la superficie calentada de un metal.
2. Emisión secundaria: partículas energéticas, incidentes sobre algunos materiales, liberan aun otros electrones de la superficie.
3. Emisión de campo: un campo eléctrico intenso extrae electrones de la superficie de un metal.
4. Efecto fotoeléctrico: luz incidente sobre un metal expulsa electrones de la superficie.

Philipp Lenard, usando radiación monocromática de intensidad constante, grafica el número de electrones emitidos por el metal (la corriente fotoeléctrica i_p) que llegan a P contra el potencial acelerador entre K y P para obtener una serie de curvas como las del inciso b de la figura 6. La corriente de saturación $i_p(\max)$ para una intensidad I dada es alcanzada cuando todos los electrones emitidos por la superficie del metal llegan a P. Nótese que cuando $V = 0$, hay todavía una corriente fotoeléctrica i_{p0} , lo que significa que algunos de los electrones deben haber sido emitidos con una velocidad finita.

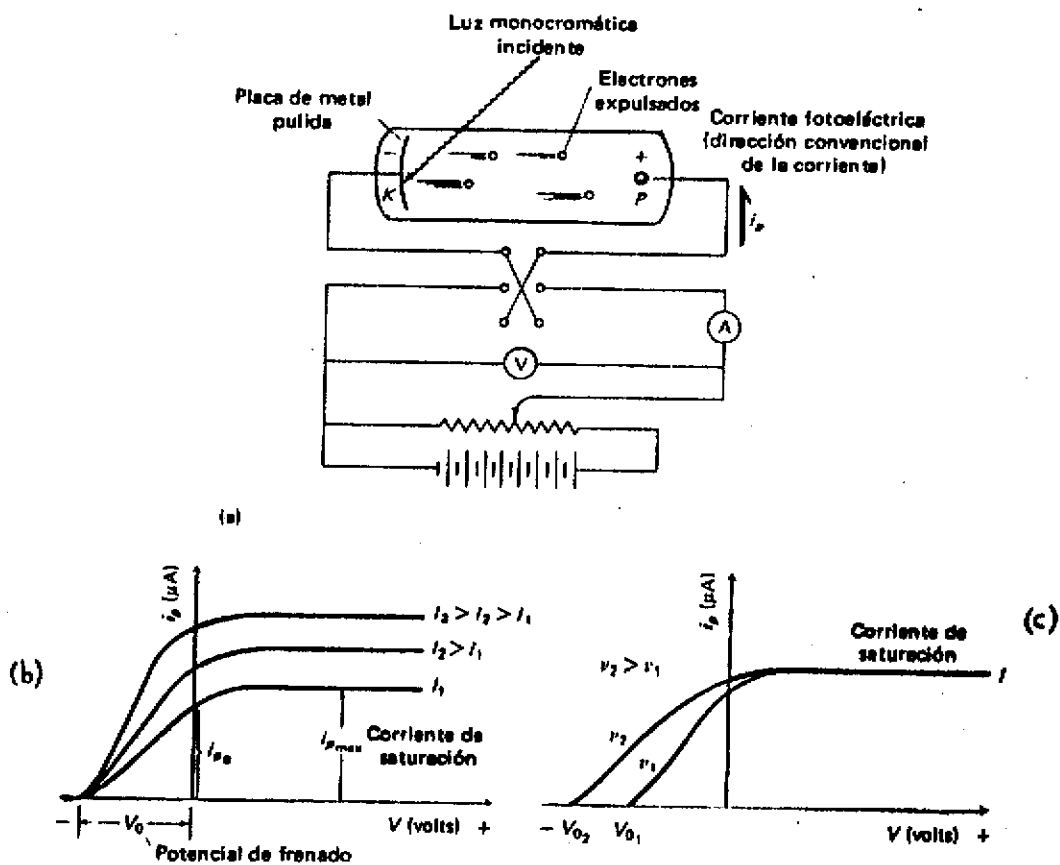
El potencial de frenado suministra una indicación de la energía cinética de los electrones emitidos. El potencial entre K y P puede hacerse negativo ($V = -V_0$) hasta que sólo los electrones más energéticos puedan llegar a P. En este punto

$$K_{\max} = eV_0$$

con V_0 definido como el potencial de frenado (o de corte) y K_{max} es la energía cinética máxima de los electrones emitidos.

Cuando la intensidad de la radiación incidente es aumentada, la corriente de saturación $i_p(max)$ aumenta (se emiten más electrones) pero ninguno de los electrones es más energético ya que el potencial de frenado permanece igual. El potencial de frenado es independiente de la intensidad de la luz incidente.

Fig. 6 Experimento fotoeléctrico



Fuente: Acosta y otros. Curso de física moderna. p. 74.

Cuando se usa luz incidente de diferente frecuencia pero de la misma intensidad, el número de electrones emitidos en cada caso es el mismo, pero los electrones más energéticos son los emitidos por la luz de mayor frecuencia. Esto se ilustra en el inciso c de la figura 6, en que la corriente de saturación depende de la intensidad y no de la frecuencia, pero el potencial de frenado se hace mayor (más negativo) en la medida que aumenta la frecuencia incidente.

Se espera que a mayor intensidad de la luz incidente, sea mayor el número de electrones emitidos por la superficie de un metal. Sin embargo, la teoría clásica es inadecuada para la explicación de otros aspectos del fenómeno fotoeléctrico. En 1905, usando los nuevos conceptos de la mecánica cuántica, Einstein supuso que la radiación incidente consiste de paquetes de energía localizada $E = h\nu$ que viajan con la velocidad de la luz. Desarrolla correctamente la teoría del efecto fotoeléctrico. Cuando los fotones caen sobre una superficie metálica, puede pasar lo siguiente:

1. Los fotones pueden ser reflejados de acuerdo con las leyes de la óptica.
2. Los fotones pueden desaparecer, cediendo toda la energía para expulsar los electrones.

La ecuación fotoeléctrica de Einstein es:

$$K_{\max} = eV_0 = h\nu - \phi$$

donde h es la constante de Planck ($6.625 \text{ EXP } -34$), ϕ es llamada función de trabajo, y $e = 1.60 \text{ EXP } -19 \text{ C}$.

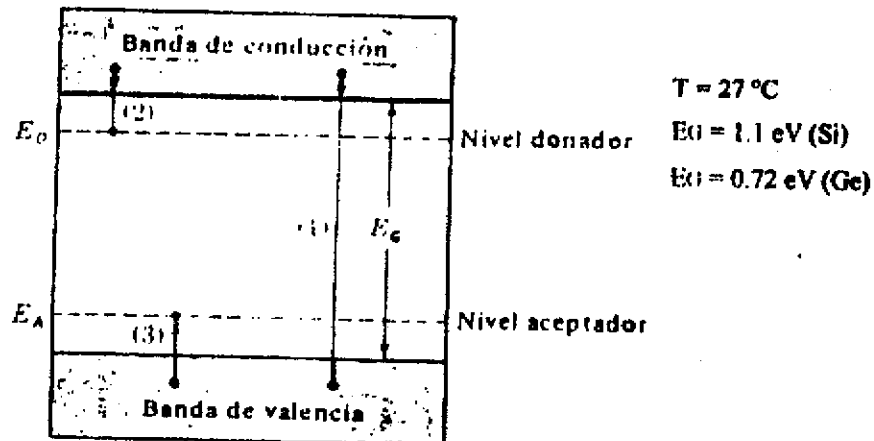
La función de trabajo es la cantidad mínima de energía requerida para extraer un electrón de la superficie del metal y depende del metal usado. (1.72-75)

1.3 Fotoconductores

Si una radiación actúa sobre un semiconductor, su conductividad aumenta, y este efecto fotoconductor se explica de la siguiente manera. La energía radiante aplicada al semiconductor ioniza los enlaces covalentes; es decir, estos enlaces se rompen, y aparecen pares de electrón-huecos que se añaden a los generados térmicamente. Este incremento de corriente de portadores reduce la resistencia del material.

En la fig. 7 se muestra el diagrama de energía de un semiconductor que tiene impurezas de los dos tipos: donadoras y aceptadoras. Si iluminan este semiconductor fotones con suficiente energía, tiene lugar la fotogeneración y son posibles las siguientes transiciones: un par de electrón-hueco puede crearse con un fotón de energía elevada, y se denomina excitación intrínseca; un fotón puede excitar un electrón donador hacia la banda de conducción; o bien un electrón de valencia puede ir hacia el estado aceptador. Las dos últimas transiciones son conocidas como excitaciones de impurezas. La fotoconductividad se debe principalmente a la excitación intrínseca. (15.33-34)

Fig. 7 Fotoexcitación en los semiconductores. (1) es intrínseca, mientras que (2) y (3) son excitaciones extrínsecas

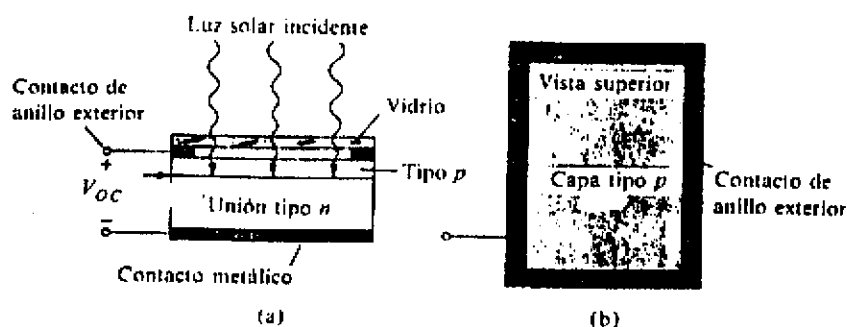


Fuente: Millman y Halkias. *Electrónica integrada*. p. 33.

1.4 Celdas solares

La construcción básica de una celda solar de unión $p-n$ de silicio se presenta en la fig. 8. Como se muestra en la vista superior, se hace todo tipo de esfuerzos para asegurar que el área superficial perpendicular al sol sea máxima. Además, nótese que la capa metálica conectada al material tipo p y el grosor de este mismo son tales que aseguran que un número máximo de fotones de energía luminosa alcance la unión.

Fig. 8 Celda solar: (a) sección transversal; (b) vista superior

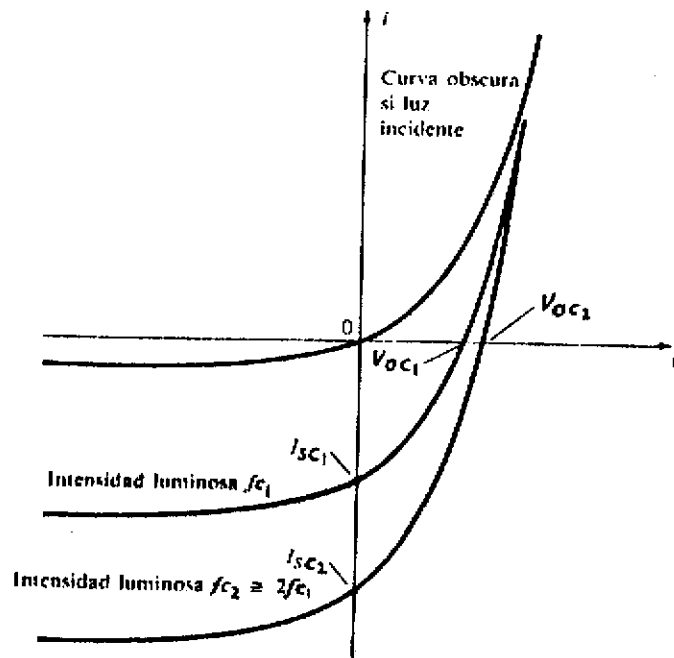


Fuente: Boylestad y Nashelsky. *Electrónica*. p. 142.

De la radiación que penetra a la celda, sólo los fotones, cuya energía ($h\nu$) es igual o ligeramente mayor de 1.1 eV (Si), y que penetren hasta la unión o lleguen a una distancia próxima de ella son absorbidos totalmente por los electrones de valencia del silicio, generando así pares de electrón-huecos (rompen el enlace covalente de semiconductor). Estos pares electrón-huecos, así producidos, son separados por el campo eléctrico interno, moviéndose los electrones hacia el lado n y los huecos hacia el lado p , el resultado es un aumento en el flujo de portadores minoritarios, cuya dirección es opuesta a la corriente directa convencional de una unión $p-n$.

Luego, los electrones y huecos, que fueron separados, son colectados por los contactos eléctricos, y generan en los extremos de la celda, un fotovoltaje que puede utilizarse para proveer energía a cualquier carga. Este incremento en la corriente inversa se muestra en la fig. 9. Puesto que $V = 0$ en todas partes sobre el eje vertical y representa una condición de corto circuito, la corriente en esta intersección se denomina corriente de corto circuito y se representa mediante la notación I_{sc} . En condiciones de circuito abierto ($i_d = 0$) se produce el voltaje fotovoltaico V_{oc} .

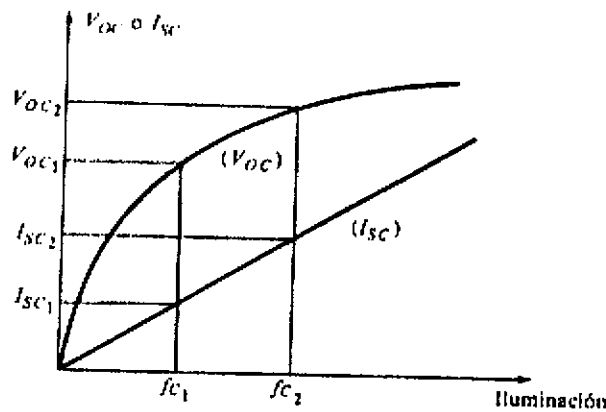
Fig. 9 Corriente de corto circuito y voltaje en circuito abierto versus intensidad luminosa para una celda solar



Fuente: Boylestad y Nashelsky. *Electrónica*. p. 142.

El Voc es una función logarítmica de la intensidad luminosa, sin embargo, la corriente de corto circuito es una función lineal de la iluminación. Esto es, se duplica para el mismo incremento en la iluminación (fig. 10), en tanto que el cambio en Voc es menor para esta región. El mayor incremento en Voc ocurre para aumentos de menor intensidad luminosa.

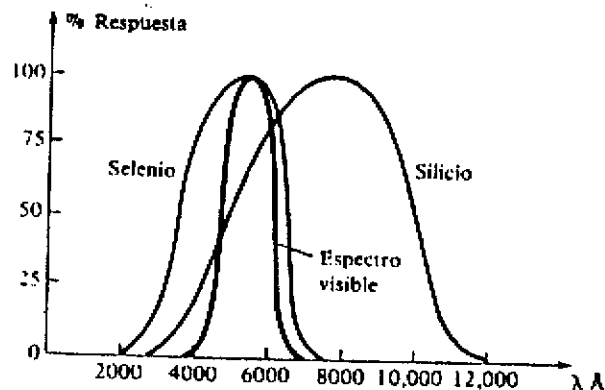
Fig. 10 Voc e Isc versus intensidad luminosa para una celda solar



Fuente: Boylestad y Nashelsky. **Electrónica**. p. 143.

El selenio y el silicio son los materiales que más se usan en las celdas solares, aunque también se emplean, entre otros, el arseniuro de galio, el arseniuro de indio y el sulfuro de cadmio. La longitud de onda de la luz incidente afecta la respuesta de la unión $p-n$ ante los fotones incidentes. En la fig. 11 nótese la proximidad de la curva de respuesta de la celda de selenio a la correspondiente al ojo. Este hecho tiene una aplicación ampliamente utilizada en el equipo fotográfico, tal como los medidores de exposición y los diafragmas de exposición automática.

Fig. 11 Respuesta espectral del Se, Si y la visión



Fuente: Boylestad y Nashelsky. *Electrónica*. p. 143.

El silicio también se traslapa con el espectro visible, pero tiene su máximo en la longitud de onda de 0.8 micrómetros (8000 Å) que se encuentra en la región infrarroja. En general, el silicio tiene una eficiencia de conversión más alta y una mayor estabilidad, y está menos sujeto a la fatiga. Ambos materiales tienen excelentes características de temperatura. Es decir, pueden soportar temperaturas muy altas o bajas. La corriente fotovoltaica es proporcional al área iluminada de la celda solar. (6.141-144)

La celda solar comúnmente empleada consiste en una hoja de silicio cristalino de menos de medio milímetro de espesor y con dimensiones hasta de $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Posteriormente se deposita por impresión en ambas caras un enrejado muy fino de plata y/o aluminio que sirven de electrodos para extraer la corriente eléctrica generada en el interior de la celda. Por último, la celda es recubierta con una película antirreflejante para hacerla más oscura y que atrape más luz. La luz en su mayoría se convierte en calor y simplemente contribuye a calentar la celda.

Existe un valor de voltaje al cual se extrae una corriente tal que el producto de ambos (potencia) es el máximo de cualquier otro par de valores de corriente-voltaje.

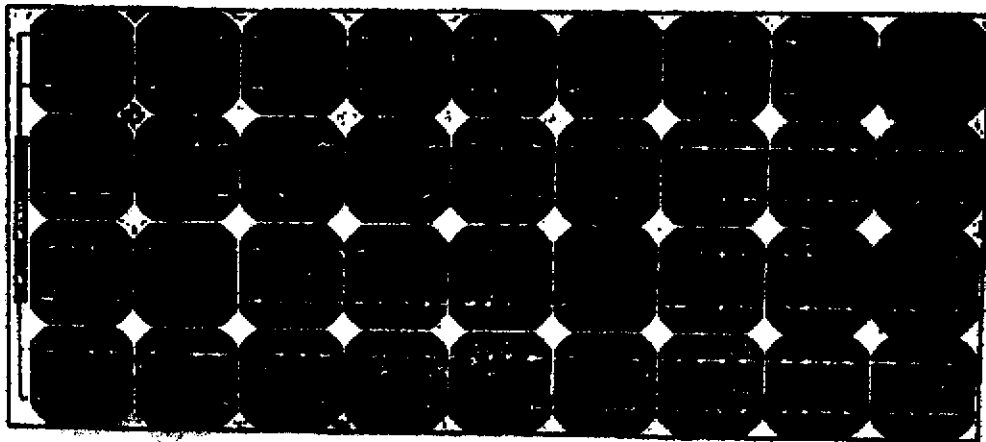
Este es el punto de potencia máxima. Observar que el punto de potencia máximo no significa que la corriente o el voltaje sea el mayor, sino que el producto de ambos es el que tiene el mayor valor respecto a los demás.

El siguiente es un ejemplo de los parámetros eléctricos de una celda solar convencional:

- Condiciones: máxima insolación (1 Kw/m^2) y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura de celda.
- Área de la celda: $10 \times 10 \text{ cm}^2$.
- Voltaje de circuito abierto: 0.59 volts.
- Corriente de corto circuito: 3.2 amp.
- Voltaje a máxima potencia: 0.49 volts a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 0.44 volts a $50 \text{ }^\circ\text{C}$
- Corriente a máxima potencia: 2.94 amp.
- Potencia máxima: 1.44 watts a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, 1.32 watts a $50 \text{ }^\circ\text{C}$. (7.16-19)

1.5 El módulo solar

Fig. 12 El módulo solar



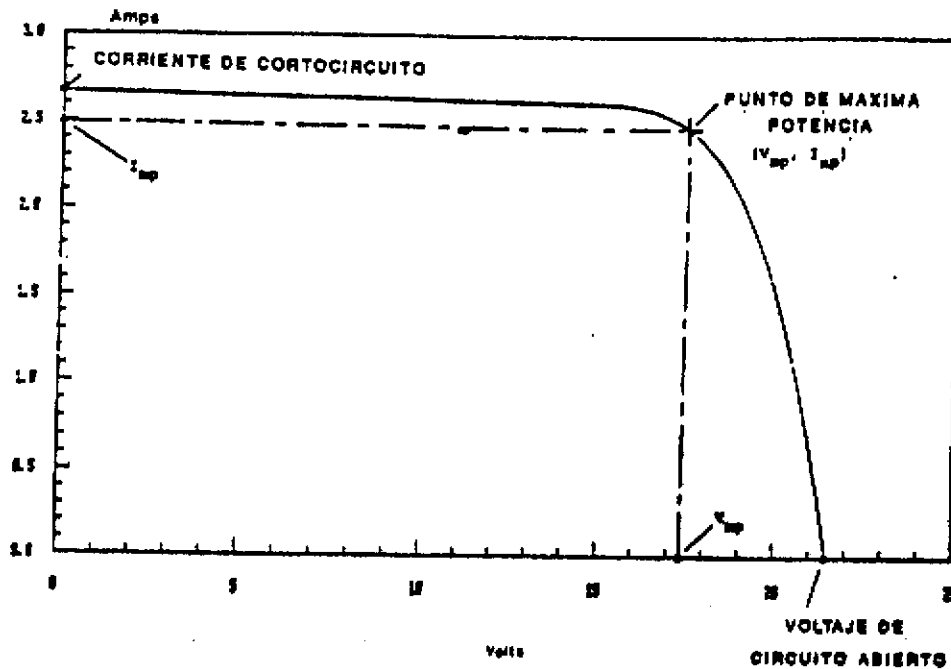
Fuente: Condumex. Los sistemas solares fotovoltaicos. p. 20.

El módulo solar es la unidad de generación fotovoltaica más pequeña que se dispone comercialmente. Consiste en un agrupamiento de celdas solares, interconectadas entre sí y laminadas entre hojas de plástico y vidrio para protegerlas del medio ambiente, con terminales para conectar el cableado al exterior.

Las celdas solares en el módulo, se interconectan usualmente en serie para elevar su voltaje, ya que por si mismas entregan un voltaje demasiado pequeño (0.5 volts en el punto de potencia máxima para cualquier aplicación práctica).

Cada módulo solar tiene sus características propias de corriente y voltaje en función del nivel de insolación y de la temperatura de operación. (7.20-22)

Fig. 13 Curva corriente-voltaje de un módulo solar fotovoltaico



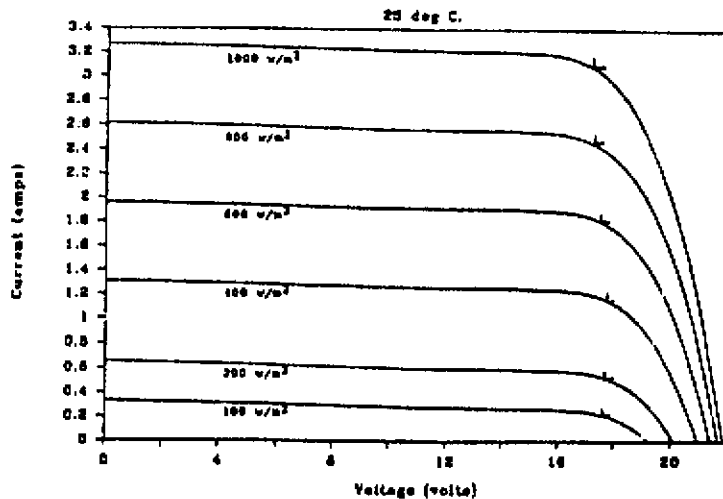
Fuente: Condumex. Los sistemas solares fotovoltaicos. p. 22.

Se pueden hacer las siguientes observaciones:

1.5.1 Efecto de la insolación

Si el voltaje al que se opera el módulo solar es el de potencia máxima o inferior, la corriente solar es casi proporcional al nivel de insolación, es decir, si la insolación baja a la mitad, así también lo hace la corriente. (7.22-23)

Fig. 14 Curva corriente-voltaje a diferentes insolaciones en el módulo solar



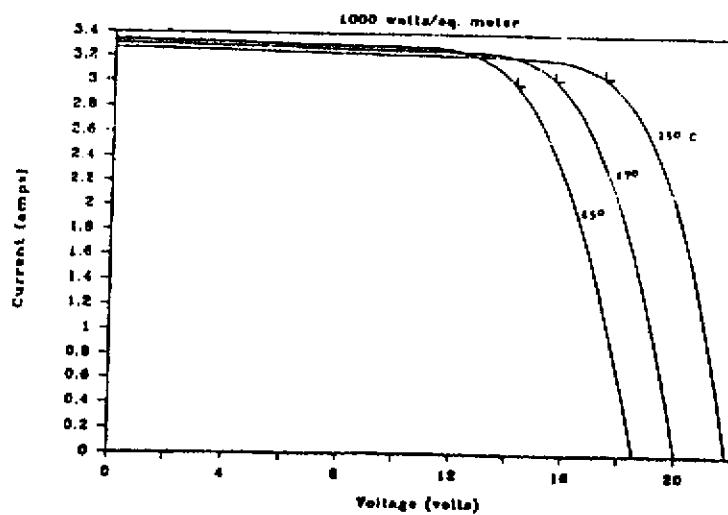
Fuente: Condumex. **Los sistemas solares fotovoltaicos.** p. 23.

1.5.2 Efecto de la temperatura

El voltaje del punto de máxima potencia disminuye al aumentar la temperatura. Se debe seleccionar el módulo cuyo voltaje de máxima potencia coincida con el voltaje de la batería, considerando la temperatura de las celdas solares. La temperatura de las celdas solares es 20 a 25 °C más alta que la temperatura ambiente.

Al diseñar un sistema fotovoltaico se deben considerar las posibles pérdidas de voltaje en el módulo. Cuando la temperatura sube más allá de lo esperado, el voltaje solar disminuye a pesar de que haya buena insolación. Es importante entonces asegurar que el módulo solar opere en el punto de máxima potencia con el voltaje de batería que se necesita y a la temperatura del módulo que se tenga en el lugar. (7.23-24)

Fig. 15 Curva corriente-voltaje a diferentes temperaturas del módulo solar



Fuente: Condux. Los sistemas solares fotovoltaicos. p. 23.

1.5.3 Parámetros importantes

Resumiendo lo antes expuesto, se definen los siguientes parámetros que caracterizan al módulo solar.

- **Corriente de corto circuito:** la corriente que circula cuando se unen las terminales positiva (+) y negativa (-) del módulo solar. El voltaje es cero por lo cual, la potencia extraída es nula.
- **Voltaje de circuito abierto:** voltaje medido en las terminales (+) y (-) del módulo solar cuando no hay circulación de corriente. La potencia extraída es cero, aún cuando el voltaje que se mide en el módulo es el mayor.
- **Corriente-voltaje en un punto de operación.** Dada una carga eléctrica conectada al módulo, se tiene entonces un voltaje de operación y una corriente que se extrae del módulo a ese voltaje. El producto de ambos es la potencia generada por el módulo solar bajo esa carga eléctrica alimentada.
- **Corriente-voltaje de máxima potencia.** Es el voltaje al que el módulo entrega una corriente tal que el producto de ambos es la potencia máxima que se puede extraer del módulo.

En un sistema fotovoltaico dimensionado adecuadamente, el voltaje del módulo corresponde o está cercano al voltaje del punto de máxima potencia. (7.24-25)

Tabla I. Especificaciones de un módulo solar de 48 watts

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS TÍPICAS (Insolación pico)

Corriente de Corto Circuito (I_{cc}):	3.2 amp
Voltaje de Circuito Abierto (V_{oc}):	19.4 volts
Corriente nominal:	2.9 amp
Voltaje nominal:	16.3 volts (25 °C) y 14.4 volts (47 °C)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Dimensiones:	33 x 130 cm
Espesor:	3.5 cm
Masa:	4.5 kg

CONSTRUCCIÓN

Frente:	Vidrio templado antirreflejante
Marco:	Aluminio anodizado reforzado
Posterior:	Película Tedlar/Poliéster/Tedlar (impermeable)
Cajas de conexión	herméticas con sello de goma para pasar cable.

Fuente: Conдумex. *Los sistemas solares fotovoltaicos*. p. 25.

1.6 Arreglos de módulos solares

Para obtener voltajes de salida más altos, los módulos solares se interconectan en serie. El conjunto de módulos solares en serie se denomina panel. La corriente de un panel es la misma que la de un módulo.

Como lo usual es tener módulos para cargar baterías de 12 volts, al ponerlos en serie se tiene el voltaje para cargar baterías de 24, 36, 48 volts, etc. Para obtener corrientes de salida más altas los módulos solares o los paneles se conectan en paralelo entre sí. (7.25-27)

1.7 Orientación del conjunto fotovoltaico

1.7.1 Captador fijo

Un captador solar fijo tiene la ventaja de la simplicidad y por tanto, de la confiabilidad. Por ello ha sido la regla usar los módulos solares como captadores fijos. Usualmente, los captadores fijos se colocan inclinados respecto a la horizontal y viendo al sur, ya que es la posición promedio del sol a lo largo del día. La inclinación es tal que favorezca recibir la radiación en invierno a costa de desfavorecer la captación en verano.

Existe, pues, la tendencia de mejorar la captación en una época y desfavorecerla en otra (7.32-33). Es usual que la inclinación óptima equivalga a un ángulo respecto a la horizontal dada por:

Tabla II. Inclinación de los paneles respecto a su ubicación

LATITUD DEL LUGAR EN GRADOS	ÁNGULO DE INCLINACIÓN
0 a 15	15
15 a 25	ángulo igual a latitud
25 a 30	latitud + 5
30 a 35	latitud + 10
35 a 40	latitud + 15
+ 40	latitud + 20

Fuente: Photocomm. **Sistemas de potencia para energía solar.** p. 13.

1.7.2 Captadores con seguimiento solar

1.7.2.1 Ángulo variable a lo largo del año

Ésta es una variante del captador fijo donde el ángulo de inclinación se ajusta manualmente en cada estación del año para obtener una mejor contribución anual. La ventaja es su sencillez y bajo costo. (7.33)

1.7.2.2 Ángulo polar variable a lo largo del día

El captador sigue al sol diariamente girando en su eje norte-sur. La ventaja es su simplicidad (relativa) y su ganancia que puede ser hasta 45% más energía captada que un arreglo fijo. La desventaja es el costo y que no dan ganancia apreciable en un lugar con nublados importantes. (7.34)

1.7.2.3 Ángulo polar y azimutal variable

Los captadores se mueven en dos ejes, de tal manera que están perpendiculares al sol en cualquier momento del día y en cualquier época del año, en forma similar a como lo hace una flor de girasol.

La ganancia de captación es grande (mayor a 60%) pero el costo y complejidad del sistema aumentan y el mantenimiento puede ser más frecuente. Se emplean ocasionalmente en arreglos solares muy grandes. (7.34)

2. DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA

2.1 Solarimetría

La energía del sol llega de tres formas diferentes:

DIRECTA: si entre el sol y el punto de captación no se interpone obstáculo y la dirección del rayo solar no se altera.

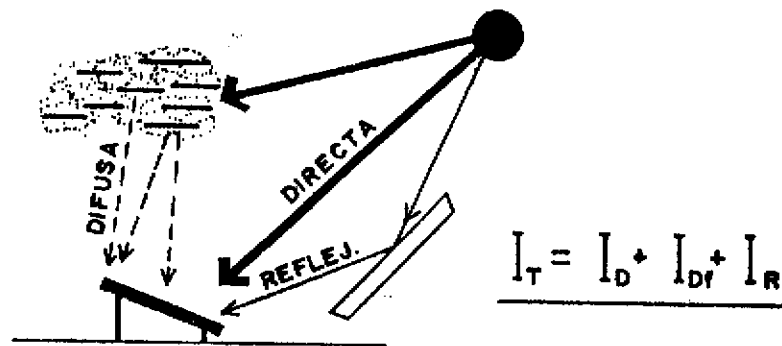
DIFUSA: cuando el rayo solar llega a través de nubes, o sea objetos transparentes, que refractan dicho rayo y le cambian de dirección.

REFLEJA: cuando un objeto reflectivo (conocido como reflector) hace rebotar un rayo luminoso que luego incide en el punto de captación.

La mejor calidad energética la tiene los rayos directos, pero en nuestros países predomina la insolación difusa en algunas regiones o épocas del año. Puede decirse que para colectores térmicos se aprovecha tanto la luz directa como la difusa, para fotosíntesis ambas y para conversión fotovoltaica la directa.

Debe aclararse que usualmente se pueden tener dos parámetros generales para medir, son ellos la cantidad de BRILLO SOLAR o sea el número de horas por día en que se recibe sol directo. El segundo parámetro es conocido como INSOLACIÓN O RADIACIÓN medida por medio de un aparato conocido como piranómetro, el cual mide la insolación global. Las medidas usuales se expresan como Langley/tiempo siendo que un Langley equivale a 1 cal/cm^2 .

Fig. 16 Tipos de insolación



Fuente: Dirección general de fuentes nuevas y renovables de energía. **Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en Guatemala.** p.17.

Otra forma típica, muy de moda; es expresar la insolación en Watt/m^2 . De acá se deriva otra unidad muy de moda, la hora pico que equivale a decir por cuantas horas al día se puede tener una insolación promedio de 1 Kw/m^2 . Así los meteorólogos expresan insolación o radiación en **LANGLEY/DÍA**, los energetistas en WATT/M^2 y los fotovoltaicos en **HORAS-PICO**.

$$1 \text{ HORA-PICO} = 1 \text{ KW/M}^2 = 1000 \text{ WATT/M}^2 = 86 \text{ LANGLEY/DÍA}$$

Es útil decir que el número de horas sol y el número de horas pico dan idea clara si el aprovechamiento puede ser fotovoltaico o fototérmico preferiblemente. Si las horas sol (H-S) son altas y las horas pico (H-P) bajas, predomina la luz directa con insolación tenue aun aprovechable por sistemas fototérmicos y no por fotovoltaicos. Si H-S es bajo y H-P alto (sol fuerte por pocas horas) puede trabajarse los sistemas fotovoltaicos con seguridad, y también los fototérmicos. No confundir las horas-sol con la duración del día u horas luz.

$$86 \text{ L/D} = 1 \text{ H-P} \quad 1 \text{ H-S} = 71 \text{ L/D} \quad \text{H-P} = 1.21 \text{ H-S}$$

(10.16-19)

2.2 Radiación y brillo solar en Guatemala

Ahora que ya se cuenta con la herramienta de medición, o sea las unidades y sus equivalencias, se evalúa cuál es el recurso solar en Guatemala. La información es escasa y la antigüedad no es mucha, pero sí tienen congruencia con los datos de los países vecinos. Los datos contienen tres valores, que son: horas-luz, horas-sol y horas-pico, en promedio mensual; solo se describen tres puntos geográficos.

Tabla III. Solarimetría en Guatemala

LLANOS DE LA FRAGUA (CÁLIDO-SECO)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
11.22,7.5,5.1	11.5,8.2,5.8	11.9,9.03,6.52	12.2,8.5,6.6	12.7,7.8,6.4
Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
12.9,6.76,6.0	12.79,7.72,6.35	12.48,7.67,6.34	12,6.85,5.91	11.6,6.9,5.5
Noviembre	Diciembre			
11.3,7.3,5.1	11.1,6.92,4.8	AÑO: 12,7.6,5.88		

COBÁN (TEMPLADO-HÚMEDO)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
11.19,5.18,3.7	11.5,5.5,4.2	11.9,7.28,5.3	12.35,6.9,5.37	12.72,6.62,5.2
Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
12.9,4.94,4.39	12.81,5.4,4.6	12.5,5.2,4.5	12.0,4.6,4.1	11.6,4.1,3.6
Noviembre	Diciembre			
11.27,4.5,3.5	11.1,4.7,3.39	AÑO: 12,5.44,4.34		

HUEHUETENANGO (FRÍO-SECO)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
11.2,8,6.1	11.5,8.5,6.8	11.9,9,7.7	12.3,8.1,7.7	12.7,6.6,7
Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
12.9,5.7,6.7	12.8,7.1,7.2	11.28,6.7,5.8	12,6.85,5.91	11.6,6.9,5.5
Noviembre	Diciembre			
11.28,6.7,5.8	11.1,7.8,5.9		AÑO: 12,7.17,6.73	

PROMEDIO NACIONAL ANUAL

Horas-pico:	5.33
Horas-sol:	6.47
LUGAR MÁS PROPICIO:	Huehuetenango
LUGAR MENOS PROPICIO:	Cobán
MEJOR MES:	Marzo, abril
PEOR MES:	Septiembre y octubre
MÁXIMA RADIACIÓN:	Huehuetenango, marzo y abril 7.67 horas-pico
MÍNIMA RADIACIÓN:	Cobán, diciembre 3.39 horas-pico

Fuente: INSIVUMEH.

2.3 Sección de climatología

Tabla IV. Climatología de oriente

Re-gión	Estación	Departa-mento	Clave	Latitud G.M.S.	Longitud G.M.S.	Elevación M.S.N.M.
II	Esquipulas	Chiquimula	040402	14 33 32	89 20 31	950
	Pto. Barrios	Izabal	080104	15 44 16	88 35 30	2
	La Fragua	Zacapa	220301	14 57 51	89 35 04	210

Fuente: INSIVUMEH.

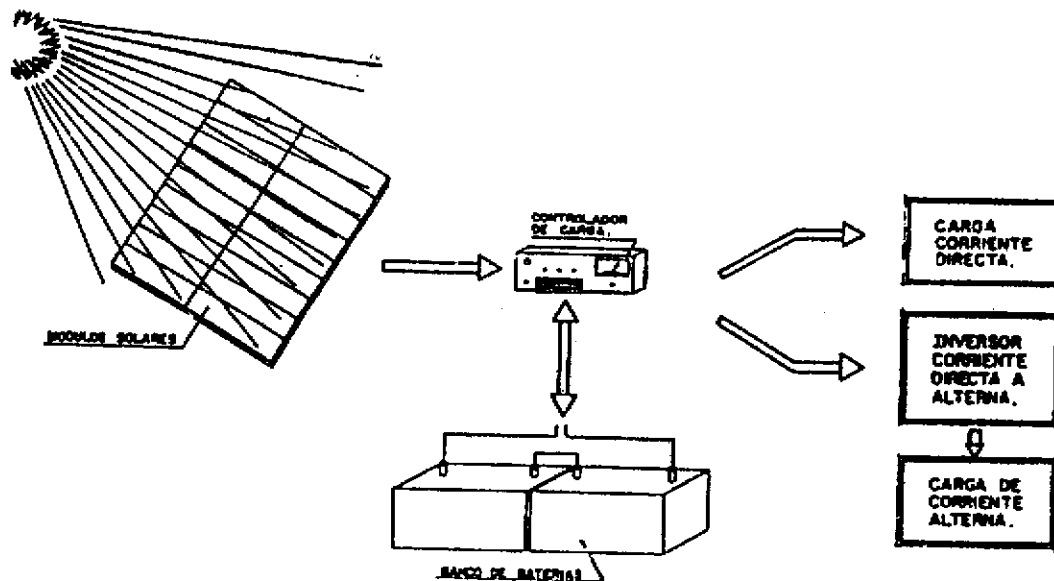
2.4 Configuración básica de un sistema solar

Para tener una idea preliminar del principio de operación de un sistema solar fotovoltaico típico, antes de entrar en los detalles de sus componentes, a continuación se presenta un diagrama a bloques simplificado que explica la función de cada uno de ellos.

El arreglo fotovoltaico es el conjunto de módulos solares que generan corriente eléctrica a un voltaje dado cuando son expuestos a la luz del sol. El arreglo fotovoltaico es pues el generador eléctrico en sí mismo cuya energía varía de acuerdo a como lo haga la insolación.

El banco de baterías recibe la corriente fotovoltaica a través del control de carga y es recargado tanto tiempo y en la magnitud en que esté disponible la radiación solar. El banco de baterías fija el voltaje de operación de los módulos solares, ya que aunque estos últimos pueden variar, el voltaje de las baterías es relativamente estable sin importar el nivel de insolación. Por lo anterior, el voltaje de un sistema fotovoltaico está dado por el banco de baterías.

Fig. 17 Configuración básica de un sistema fotovoltaico a baterías



Fuente: Conдумex. **Los sistemas solares fotovoltaicos.** p. 11.

El banco de baterías permite disponer de electricidad al consumo a través del control de carga, en cualquier momento, a pesar de las variaciones de insolación, en especial en las noches y en los periodos nublados.

El control de carga se requiere para asegurar que la batería y los equipos alimentados operen dentro de su rango de voltaje permitido. El control de carga evita que las baterías se sobrecarguen, limitando o interrumpiendo la corriente solar cuando las baterías ya están bien cargadas. Además, asegura que el voltaje de las baterías no exceda el permitido a los equipos conectados.

Por otro lado, el control de carga limita el voltaje mínimo al que las baterías se descargan, interrumpiendo el suministro a las cargas alimentadas parcial o totalmente. Para esta función, debe decidir el usuario que es más importante: proteger las baterías o dar el suministro a los equipos alimentados aún a costa de la vida de las mismas.

El control de carga centraliza el cableado de los componentes del sistema e incluye sus protecciones, señalización y medición, por lo que se convierte en el cerebro del mismo. Los equipos alimentados en corriente directa se conectan al control de carga, mientras los equipos que emplean corriente alterna requieren un componente adicional: el inversor CD/AC. (7.11-12)

2.4.1 Los bancos de baterías

Un banco de baterías, del tipo empleado en los sistemas fotovoltaicos, es un conjunto de celdas electroquímicas, conectadas generalmente en serie para obtener el voltaje deseado y que son susceptibles de almacenar energía eléctrica en forma química (carga), cederla a un equipo en forma de electricidad (descarga) y volverá a recuperar.

En la práctica existen dos tipos de celdas electroquímicas empleadas: plomo-ácido y níquel-cadmio. Las baterías níquel-cadmio presentan características de construcción y operación ventajosas respecto a las celdas de plomo-ácido: más larga vida, menor mantenimiento, mejor resistencia a temperaturas extremas, menor corrosión, etc., pero su costo es tan alto que son poco usadas en sistemas fotovoltaicos, excepto en aquellos lugares inaccesibles y de clima extremoso (las regiones polares por ejemplo). Por lo anterior, se detalla en este capítulo únicamente la celda plomo-ácido. (7.35)

2.4.1.1 Eficiencia

Una celda electroquímica tiene pérdidas durante su operación, es decir, no toda la energía eléctrica que recibe durante la carga la puede entregar durante la descarga. El primer factor de pérdida es que una pequeña parte de los electrones durante la carga no contribuyen a las reacciones químicas antes descritas, sino que se desperdician en reacciones químicas parásitas. El porcentaje de electrones útiles durante la carga varía entre el 92% y 98%.

El segundo factor de pérdida es que se requiere un voltaje de carga mayor que el voltaje que se obtendrá a la descarga, simplemente porque se tiene que forzar a que los electrones entren a la celda durante la carga. El voltaje de carga promedio de la batería en un sistema fotovoltaico es 2.46 volts por celda, mientras que el voltaje promedio a la descarga es 2.15 volts; es decir, se tiene una eficiencia por voltaje de 88%. La combinación de las eficiencias mencionadas da el rendimiento global de las baterías. (7.39-40)

2.4.1.2. Capacidad

La capacidad de una baterías es la cantidad de energía que puede almacenar. Siendo así debe quedar expresada en unidades de watts-hora. Sin embargo, ha sido más usual expresar la capacidad en amper-hora. El amper-hora es el conteo total de electrones que fluye en determinado tiempo. La multiplicación de los amper-hora por el voltaje promedio de la batería resulta en la energía almacenada.

$$E_b = (\text{amper-hora}) \times (\text{volts}) = \text{watts-hora}$$

Se pueden calcular fácilmente los (amper-hora) extraídos o inyectados simplemente multiplicando la corriente de descarga o de carga por el tiempo en que ha ocurrido el proceso:

$$\text{amper-horas} = I(\text{amp}) \times t(\text{horas})$$

(7.40)

Como ejemplo, se dan algunos parámetros de operación típicos a los que se sujetan los bancos de baterías en un sistema fotovoltaico:

- Diariamente experimentan ciclos de descarga (noche) – carga (día) equivalentes al 10-20% de la capacidad nominal.

- Con la frecuencia que ocurran nublados prolongados pueden descargarse profundamente y tardar hasta semanas en recuperar el 100% de la carga nuevamente.
- Operan a temperaturas tan bajas como 0 °C (invierno) o tan altas como 45 °C.
- Los usuarios se olvidan de ellas hasta que el agua se ha agotado debajo del nivel de las rejillas.
- La corrosión en las terminales de conexión no es eliminada hasta que falla el sistema completo.
- El voltaje de carga es insuficiente y la batería nunca alcanza su carga total.
- El voltaje de carga es excesivo y la batería pierde agua excesivamente.
- El usuario descarga la batería totalmente a pesar de que el tipo utilizado no sea apropiado para ello. (7.46-47)

2.4.1.3 Evaluación

La única forma práctica de determinar la capacidad que tiene una batería es cargarla totalmente y luego sujetarla a una descarga completa a una corriente dada. La capacidad es el producto de la corriente por el período en que se descarga (horas). En general se considera que una batería está descargada cuando llega a 1.75 volts por cada celda.

Si una batería entrega menos del 80% de su capacidad original, es conveniente reemplazarla a menos que en su dimensionamiento se haya considerado una pérdida de capacidad mayor con el envejecimiento.

Si las placas positivas se observan brillantes y quebradizas, se ha formado sulfato duro que ya no es posible reincorporar al electrolito durante la recarga. Se debe practicar una prueba de capacidad y decidir si se continúa usando la celda. (7.48-49)

2.4.1.4 Mantenimiento

El mantenimiento es sencillo y tiene efectividad si se sigue con cuidado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para el tipo de batería empleado. En general, el mantenimiento consiste en:

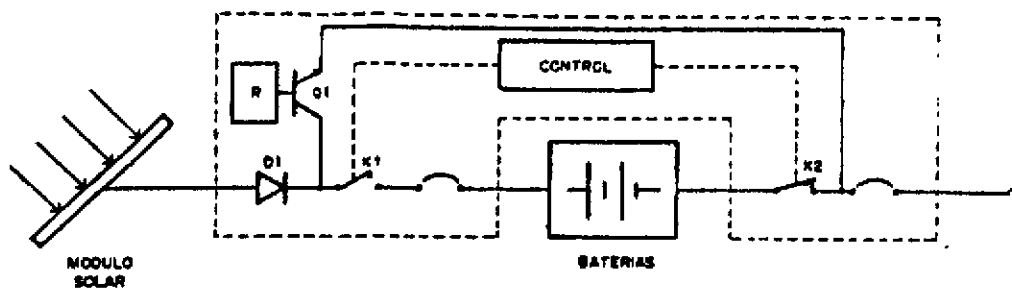
- Limpieza de las terminales de la celda para eliminar depósitos y aplicación de grasa anticorrosiva.
- Adición de agua en el caso de celdas descubiertas. Nunca se debe añadir ácido porque este no se pierde en los procesos de carga y descarga de la batería, el agua debe estar libre de minerales (destilada o desmineralizada). Si se añade agua común, las pérdidas y la autodescarga se incrementa. Nunca debe permitirse que el nivel del electrolito baje tanto que deje al descubierto las placas.
- Medición de densidad del electrolito. Debe asegurarse que la densidad máxima nominal se alcance cuando el control de carga fotovoltaica haya llegado a su voltaje de carga completa. Si la densidad máxima no se alcanza y el control de carga ya limitó la corriente solar, entonces deben reajustarse los niveles de operación.
- Prueba de capacidad. Esta prueba es indispensable si se quiere saber el estado real de la batería, especialmente en los tipos de celda sellados donde la densidad de electrolito no se puede medir. (7.49-50)

2.4.2 El control de carga

El diagrama a bloques muestra los componentes principales y el principio de operación del sistema solar fotovoltaico a batería.

Al amanecer el voltaje de los módulos solares se incrementa rápidamente hasta exceder al voltaje del banco de baterías, polarizando en directa el diodo D1 e iniciando poco a poco la carga al sistema.

Fig. 18 Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico a baterías



Fuente: Condux. Los sistemas solares fotovoltaicos. p. 51.

El arreglo de módulos solares genera durante el periodo diurno de un día típico, suficiente corriente tanto para alimentar a los equipos como para recuperar el banco de baterías de la descarga de la noche anterior. En general, la corriente del arreglo solar durante el día, a carga plena, es mucho mayor que el consumo de los equipos alimentados, teniéndose entonces una entrada neta de corriente a las baterías.

Cuando se llega a un voltaje de baterías de 2.46 volts/celda de la batería, los módulos solares se desconectan (se abre K1 del control de carga), pues se espera que la batería ya esté totalmente cargada. En ese momento, la corriente solar fluye únicamente por el circuito de flotación (formado por el regulador R y el transistor Q1), que mantiene una corriente limitada a un voltaje constante de 2.33 volts/celda.

Bajo esta condición el arreglo de módulos solares proporciona solo la corriente necesaria para mantener el suministro a los equipos y la corriente de mantenimiento del banco de baterías.

El modo de operación a flotación se mantiene el resto del día mientras haya suficiente insolación para que los módulos solares generen la corriente antes mencionada. Al atardecer o cuando ocurre un nublado, el circuito de flotación no puede sostener un voltaje constante y al llegar a 2.15 volts/celda, el relevador k1 se cierra y fluye libremente la corriente que pueda proporcionar el banco de baterías.

Al oscurecer el banco de baterías alimenta por sí solo las cargas y estará descargándose ya que deja de recibir corriente de los módulos solares. Al amanecer los módulos solares reinician el ciclo de carga y suministran la corriente a las cargas en su totalidad, además de recargar a las baterías, repitiéndose el ciclo descrito anteriormente.

Cuando hay días nublados la corriente solar disminuye bastante y es insuficiente para alimentar a las cargas conectadas, por lo que la corriente es tomada de las baterías. Mientras persista la condición de nublados el banco de baterías estará descargándose. Los sistemas solares son diseñados para soportar desde 2 días hasta 10 días esta condición, dependiendo de las condiciones de la localidad. Este periodo de respaldo es denominado autonomía del banco de baterías.

Si la condición de nublados persistiera más allá de estos periodos, el control de carga automáticamente desconecta la alimentación a las cargas, abriendo el relevador k2 a 1.92 volts/celda para proteger a las baterías de un daño irreversible. La alimentación es restablecida automáticamente cuando las baterías recuperan carga, a 2.23 volts/celda.



Tabla V. Valores típicos de operación del sistema fotovoltaico

PARÁMETRO	SISTEMA 12 VOLTS	SISTEMA 24 VOLTS
Desconexión de módulos solares	14.0 a 15.5 v	28.0 a 31.0 v
Voltaje de flotación	13.5 a 14.0 v	27.0 a 28.0 v
Conexión de batería	12.8 a 13.4 v	25.6 a 26.8 v
Desconexión por bajo voltaje de batería	11.4 a 11.8 v	22.8 a 23.6 v
Reconexión al recuperarse la batería	13.2 a 13.8 v	26.4 a 27.6 v

Fuente: Condomox. Los sistemas solares fotovoltaicos. p. 53-54.

Se carece de valores establecidos para estos parámetros, ya que dependen de los componentes del sistema y del criterio de diseño. (7.51-54)

2.5 Dimensionamiento básico de un sistema fotovoltaico

Se describe a continuación un procedimiento para dimensionar un sistema fotovoltaico a baterías en forma sencilla y rápida. Para un cálculo detallado se emplean programas por computadora, de los cuales existen varias versiones en el mercado. El sistema se diseña para que la energía generada en promedio diariamente por los módulos solares, en el mes más desfavorable sea igual a la energía diaria consumida por los equipos a alimentar; y se diseña en función de:

1. Características del clima local (fuente energética solar). Número de horas pico y temperatura promedio de día.
2. Características de las cargas a servir (consumo).

3. Tiempo de uso de las cargas.
4. Distancias del acumulador a las cargas.

Y de allí se derivan parámetros como:

1. Tamaño del colector (vatiaje en W.).
2. Capacidad de almacenaje de batería (amperios-hora).
3. Calibre de los cables (No. AWG).
4. Tamaño y características del control (A. y V.).

2.5.1 Efecto del nivel de radiación (Horas-Pico)

Climáticamente hablando, este es el parámetro más importante, pues da idea de la cantidad de energía solar disponible en función de la potencia del sol. Como la corriente eléctrica DC generada es función del área de captación (que no se puede variar una vez realizado el diseño) y del tiempo que sea efectivo el sol (horas pico por día), debe de tenerse en cuenta.

Como los lugares no tienen un nivel fijo de radiación, se promedia la insolación de los meses de la época lluviosa, y con ello se asegura que el sistema funciona bastante bien. Para el oriente las baterías se diseñan para cuatro días de autonomía, cuando el sol es muy bajo, en los cuales el acumulador aporta la energía a las cargas. En caso del oriente de Guatemala, una cifra de 5 H-P es buena. En el occidente, 5.5 para Huehuetenango.

2.5.2 Efecto de las características de las cargas de consumo

Una carga de consumo puede ser una resistencia eléctrica, un motor, una lámpara, un radio o un televisor.

En el caso de resistencias eléctricas, para sistemas de I.F.V., no son adaptables, pues una sencilla plancha tiene al menos una carga de 1000 W, que es muy elevada. Un calentador de agua tiene de 1,500 a 3,000 W; debido a esto no es recomendable usar cargas resistivas.

En televisores y radios depende de sus tamaños, dado que el tiempo de uso normal de los mismos generalmente es de varias horas por día. Nótese cómo un radio pequeño sin grabador consume tan poca potencia como 2 W. Las radiograbadoras promedio fluctúan de 6 a 40 W; no se recomienda usar aquellas que sobrepasen los 20 W. Los TV blanco y negro de 12" consumen de 15 a 20 W. Su equivalente en colores es casi los 60 W, que es inadecuado para los sistemas de I.F.V.

La energía consumida de una carga es igual al producto de su potencia por el tiempo de uso. Así cargas pequeñas por largos tiempos equivalen a cargas medianas por tiempos cortos, veamos: lámpara de 8 W versus licuadora de 300 W, licuadora = $300 \text{ W} \times 5 \text{ min.} = 300 \text{ W} \times 1/12 \text{ h} = 25 \text{ W-h}$, lámpara = $8 \text{ W} \times 3 \text{ h/día} = 24 \text{ W-h}$. Así que, el tiempo de uso de las cargas debe conocerse con precisión, el cual puede fijarse de antemano. Hay que ser drástico al decirle a las personas de campo que no deben exagerar el desvelo; que deben acostarse a las 8:30 o 9:00 a más tardar, pues tampoco se trata de abusar de la salud y del sistema.

2.5.3 Tiempo de uso de las cargas

Los tubos de lámparas fluorescentes vienen diseñados para que se puedan encender unas 1000 veces. El estar encendiendo y apagando en intervalos cortos, menos de 20 minutos, puede perjudicar al tubo rápidamente; pues desprende la capa de fósforo del interior (extremos ennegrecidos). Lo mejor es establecer horarios de uso, como los siguientes.

Lámpara 1 : de 18:00 a 19:00	1 hora
Lámpara 2 : de 18:00 a 21:00	3 horas
Lámpara 3 : de 19:00 a 20:30	2.5 horas
TV : de 19:00 a 21:00	2 horas
Total:	8.5 horas

Debe evitarse el uso de lámparas durante el día haciendo ventanas en su casa. El usar lámparas de día puede perjudicar los balastos, pues el voltaje que les podría llegar podría ser del colector (15 V) y no del acumulador (12 a 13 V). Otra recomendación prudente es decirles que las lámparas sin utilidad se apaguen y que cuando se usa un TV, por lo menos debe apagarse una lámpara.

Recuerde que las fantasías comerciales que se dicen al respecto del tiempo de servicio de los sistemas de I.F.V. pueden hacer mucho daño, sea honrado, pues de lo contrario daña no solo al sistema, sino lo que es peor, perjudica a la tecnología fotovoltaica dándole mala fama.

2.5.4 Efecto de la distancia del acumulador a las cargas

Al respecto puede afirmarse que como la caída de voltaje en un alambre o cable eléctrico es proporcional a la distancia del mismo y a su diámetro, esto en cierta forma afecta el balance del diseño, pues no es lo mismo una carga de 20 W ubicada a 8 m, que otra de 20 W ubicada a 40 m.

Los sistemas deberían usar solo alambre de cobre trenzado, ya que para un grosor regular este se maniobrá fácilmente. Para un sistema eficiente y seguro, debe seleccionarse el número correcto del alambre. Si el alambre es demasiado pequeño crea una resistencia innecesaria, resultando pérdidas de potencia y formación de mucho calor, lo cual es peligroso.

“U.S. National Electrical Codes” exige los tamaños específicos del alambre para voltajes y cargas conocidas. El siguiente cuadro representa la distancia máxima en pies de la fuente de energía a la carga para dos alambres de cobre trenzados en sistemas de 12 V. (11.21)

Tabla VI. Tabla de conductores para las conexiones de los sistemas de I.F.V.

Alambre AWG							
Amps	12	10	8	6	4	2	0
2	86	130	220	360	560	900	1500
5	35	56	90	114	225	362	600
10	18	29	45	77	112	181	300
15	11	18	30	47	75	120	200
20	8.5	13	22	36	56	90	150
25	6	11	17	29	45	72	120
30	5	8	15	25	37	60	100
50	3	5	8	15	22	36	60

Fuente: Photocomm. **Sistemas de potencia para energía solar.** p. 21.

En resumen, lo que más pesa en el balance de captación y consumo es: el nivel de radiación local, el tamaño de la carga total y el tiempo de uso. Ahora, con el antecedente citado se puede entender y realizar el balance de captación y consumo de energía.

Balancear un sistema consiste en encontrar un equilibrio entre la producción de energía y el consumo de la misma, de manera que la producción asegure mantener el porcentaje de llenado de carga de la batería lo más alto posible para alargar su vida útil. Que cada día se reponga lo consumido en la noche anterior, eso es balancear.

Recuerde que un sistema jamás es 100% eficiente, en este caso lo prudente es conceptuar un 85% de eficiencia, realmente el 85% se hace realmente disponible para las cargas debido a las pérdidas en cables, control, y batería.

Las ecuaciones a utilizar son las siguientes:

$$E_c = P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + P_3 \times t_3 + \dots P_n \times t_n \quad (\text{watts-hora})$$

Donde:

E_c es la energía consumida al día por todas las cargas conectadas.

P es la potencia de la carga.

t es el tiempo de uso de la carga al día.

$$E_{gm} \times N_{sist} = E_c \times F_s \quad \text{igual a;} \quad E_{gm} = E_c \times F_s / N_{sist}$$

Donde:

E_{gm} es la energía generada por el módulo solar diariamente.

N_{sist} es la eficiencia combinada del sistema de I.F.V. $N_{sist} = 85\%$.

F_s es el factor de sobredimensionamiento del sistema. $F_s = 1.1$ a 1.2

$$E_{gm} = P_m \times H-P$$

$$P_m \times H-P = E_c \times F_s / N_{sist}$$

$$P_m = E_c \times F_s / (H-P \times N_{sist})$$

Donde:

P_m es la potencia del módulo solar.

H-P es el número de horas pico al día en el mes menos favorable (5 H-P para Zacapa).

$$C_b = \frac{A_u \times E_c}{V_b \times f_u}$$

Donde:

C_b es la capacidad de la batería (amp-horas).

A_u es la autonomía deseada en el banco de baterías. Varía entre 4 días para lugares con buena insolación (Zacapa) hasta 6 días para lugares con nublados prolongados.

V_b es el voltaje nominal de la batería.

f_u es la fracción de la capacidad total de la batería que se usa para dar la autonomía del sistema, evitando que las baterías se descarguen totalmente, $f_u = 0.8$.

El control de carga específica por tres datos básicos:

1. El voltaje nominal del banco de baterías.
2. El tipo de baterías a utilizar, con lo que se definen los niveles de voltaje de operación del control.
3. La corriente máxima que genera el módulo y la corriente máxima que demandan los equipos alimentados.

2.6 Instalación del sistema

La instalación del sistema sencillo se lleva a cabo en un solo día. Las principales herramientas que se necesitan son:

- Martillo para engrapar.
- Destornillador para montar interruptores y tomacorrientes.
- Pinzas para cortar alambre.
- Un clinómetro para medir la inclinación del panel.
- Una brújula para orientar el panel.
- Un nivel para determinar la inclinación del panel.
- Un barreno con su respectiva broca para montar el panel en la base del poste.
- Una llave ajustable para apretar los terminales de la batería.
- Un multitester para efectuar mediciones.

Utilizar un poste con base para montar allí el panel. Para la instalación de los paneles se recomienda ver el manual de instalación proporcionado por el fabricante para un mejor detalle sobre el montaje. Este panel debe estar orientado hacia el sur y con una inclinación que aproveche el sol todos los meses; en Guatemala se recomienda montar los paneles a un ángulo de 15 grados hacia el sur, pero para mejor exactitud puede usarse la tabla II.

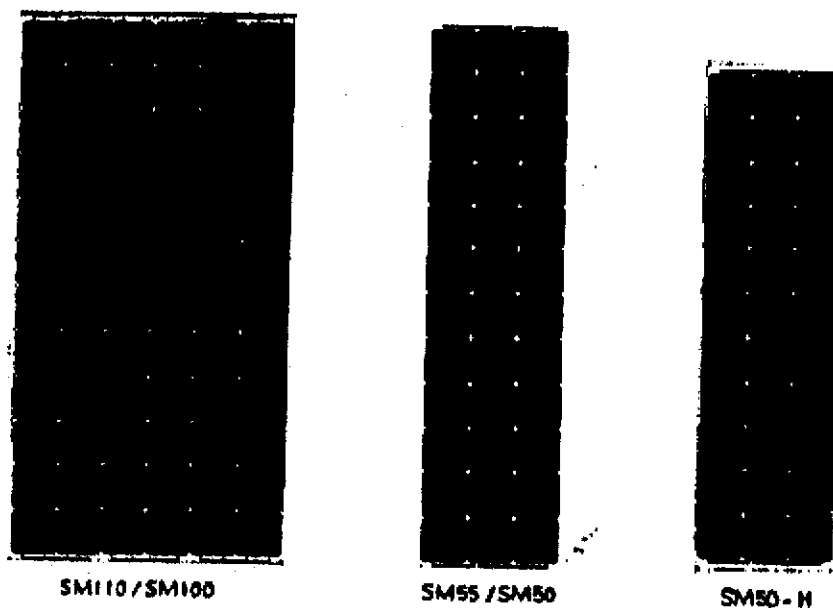
Se debe ubicar el panel donde no le lleguen sombras desde las 8:00 de la mañana hasta las 4:00 de la tarde. La sombra roba parte de la capacidad del panel. La caja de control y la batería se monta en un lugar de acceso conveniente y no muy lejos del panel. La batería debe estar colocada en un sitio seguro donde no jueguen los niños. Hay que observar la polaridad de la batería y del panel, poniendo siempre positivo con positivo y negativo con negativo.

3. LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En los capítulos anteriores se habla de los diferentes componentes del sistema de iluminación fotovoltaica; su funcionamiento, y su dimensionamiento en el cálculo de estos sistemas. Ahora, en este capítulo se conocen los componentes en forma ilustrativa, para que se tenga conocimiento de cómo lo son físicamente. Se presentan diferentes marcas y modelos, con sus respectivas características.

3.1 Tipos de módulos solares

Fig. 19 Módulos solares SIEMENS



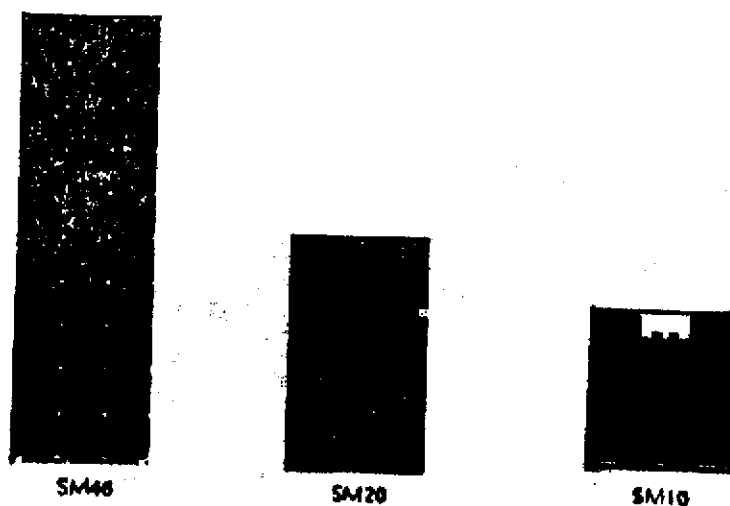
Fuente: LUEX.

Tabla VII. Características de los módulos solares SIEMENS

Tipo de módulo	SM110	SM100	SM110-L	SM100-L	SM55
Opción	12/24V	12/24V	12/24V	12/24V	12V
Pot. máx. func.	110	100	110	100	55
Pot. mín. func.	100	90	100	90	50
Corriente nom.	6.3/3.15	5.9/2.95	6.3/3.15	5.9/2.95	3.15
Voltaje nom.	17.5/35.0	17.0/34	17.5/35	17.0/34	17.4
Corriente de c.c.	6.9/3.45	6.5/3.25	6.9/3.45	6.5/3.25	3.45
Voltaje de c.a.	21.7/43.5	21.0/42.0	21.7/43.5	21.0/42.0	21.7
Largo (cm)	131.6	131.6	130.7	130.7	129.3
Ancho (cm)	66.0	66.0	65.2	65.2	32.9
Espesor (cm)	4.0	4.0	5.5	5.5	3.4
Masa (Kg)	11.5	11.5	9.5	9.5	5.5

Fuente: LUEX.

Fig. 20 Módulos solares SIEMENS



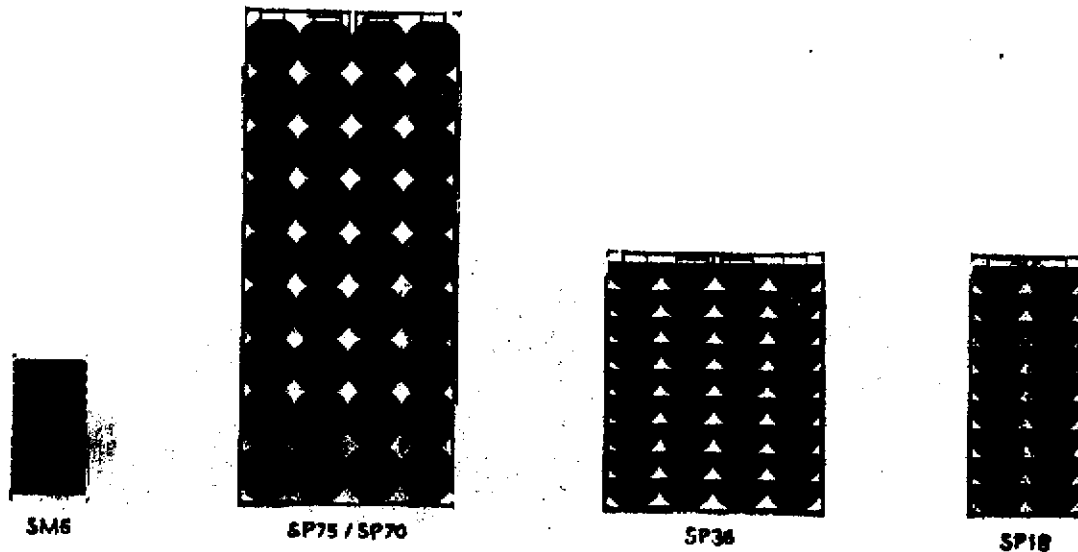
Fuente: LUEX.

Tabla VIII. Características de los módulos solares SIEMENS

Tipo de módulo	SM50	SM50-H	SM46	SM20	SM10
Opción	12V	12V	12V	12V	12V
Pot. máx. func.	50	50	46	20	10
Pot. mín. func.	45	45	41	18	9
Corriente nom.	3.05	3.15	3.15	1.38	0.61
Voltaje nom.	16.6	15.9	14.6	14.5	16.3
Corriente de c.c.	3.4	3.35	3.35	1.6	0.71
Voltaje de c.a.	21.4	19.8	18.0	18.0	19.9
Largo (cm)	129.3	121.9	108.3	56.7	36.0
Ancho (cm)	32.9	32.9	32.9	32.9	33.0
Espesor (cm)	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5
Masa (Kg)	5.5	5.2	4.6	2.5	1.8

Fuente: LUEX.

Fig. 21 Módulos solares SIEMENS



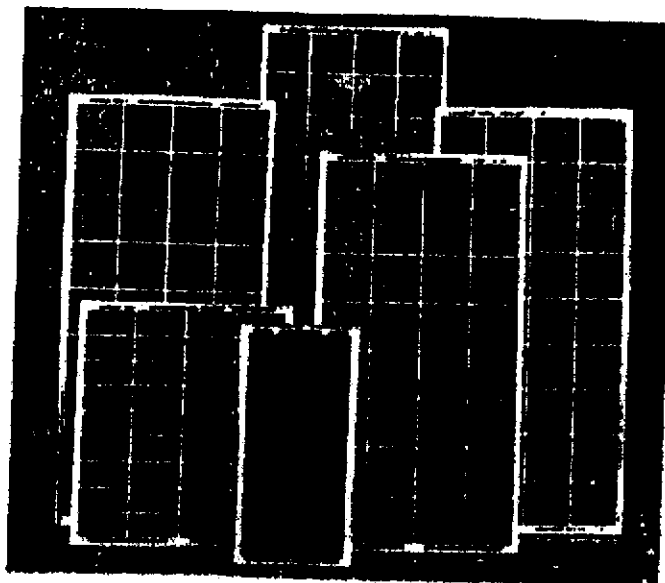
Fuente: LUEX.

Tabla IX. Características de los módulos solares SIEMENS

Tipo de módulo	SM6	SP75	SP70	SP36	SP18
Opción	12V	12/6V	12/6	12/6V	12/6V
Pot. máx. func.	6	75	70	36	18
Pot. mín. func.	5	70	65	32	16
Corriente nom.	0.39	4.4/8.8	4.25/8.5	2.1/4.2	1.1/2.1
Voltaje nom.	15.0	17.0/8.5	16.5/8.25	17.0/8.5	17/8.5
Corriente de c.c	0.42	4.8/9.6	4.7/9.4	2.4/4.8	1.2/2.4
Voltaje de c.a.	19.5	21.7/10.9	21.4/10.7	21.7/10.9	21.7/10.9
Largo (cm)	33.0	120.0	120.0	63.3	63.3
Ancho (cm)	17.5	52.7	52.7	52.7	27.5
Espesor (cm)	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
Masa (Kg)	1.0	7.6	7.6	4.3	2.7

Fuente: LUEX.

Fig. 22 Módulos solares KYOCERA



Fuente: DINTERSA.

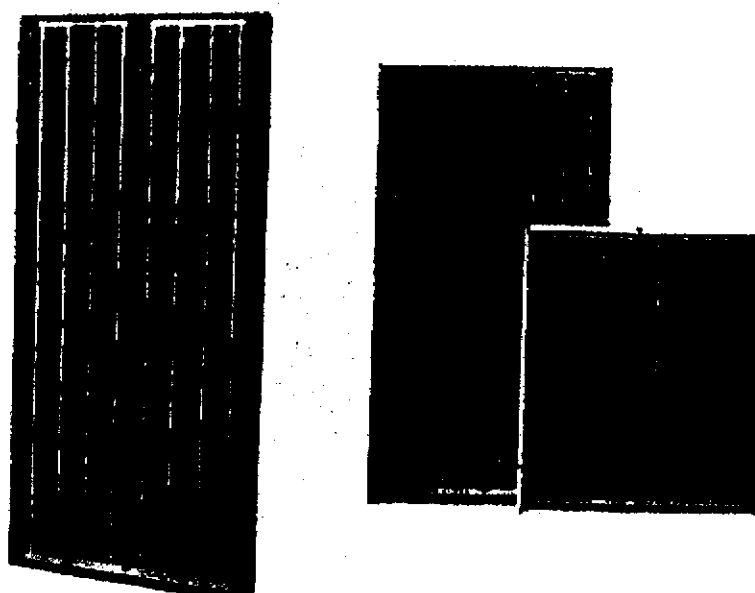
Tabla X. Características de los módulos solares KYOCERA

Pot. nom.	Modelo	Voltaje nom.	Corr. nom.	Largo	Ancho	Masa
63 W	K63	20.7	3.03	119.4 cm	44.4	7.3 Kg
51 W	K51	16.9	3.02	98.6	44.4	5.9 Kg
45 W	K45	15.0	3.02	87.9	44.4	5.3 Kg
34 W	K34	15.0	2.26	68.6	44.4	4.5 Kg
24 W	C24	16.7	1.44	53.6	44.4	3.2 Kg
11 W	C11	16.5	0.65	51.4	24.4	2.0 Kg
59 W	J59	20.3	2.89	121.7	44.7	7.3 Kg
48 W	J48	16.7	2.88	98.6	44.4	5.9 Kg
43 W	J43	14.8	2.89	87.9	44.4	5.3 Kg
38 W	J38	16.7	2.28	80.5	44.4	4.9 Kg

Configuración del sistema: 12V

Fuente: DINTERSA.

Fig. 23 Módulos solares SOLAREX



Fuente: BIMEX.

Tabla XI. Características de los módulos solares SOLAREX

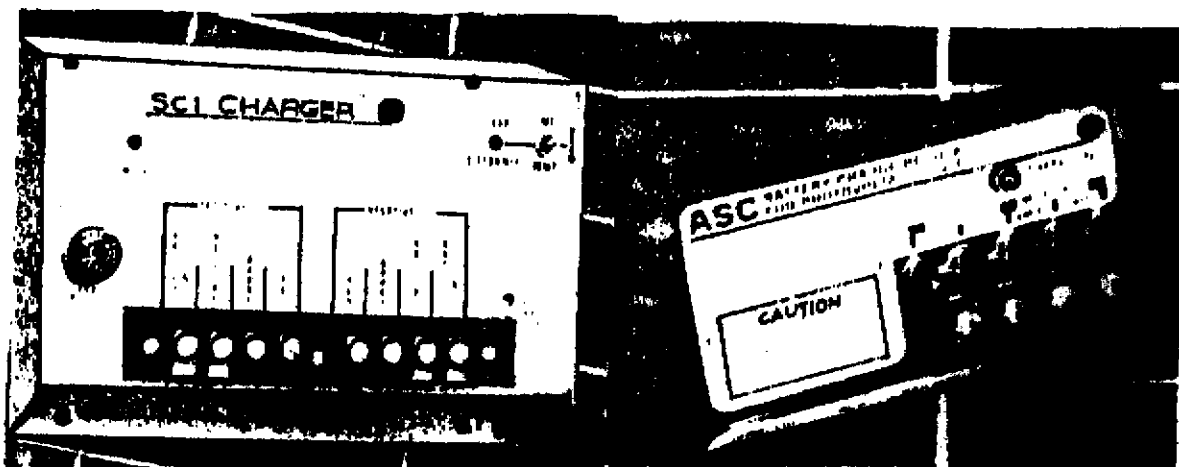
Modelo	VLX-53	VLX-32	MSX-64	MSX-60
Pot. pico (W)	53	32	64	60
Voltaje pico	17.2	17.2	17.5	17.1
Corr. pico	3.08	1.86	3.66	3.5
Corriente de c.c.	3.33	2.01	4.0	3.8
Voltaje de c.a.	21.3	21.3	21.3	21.1
Largo (cm)	93.7	59.1	110.8	110.8
Ancho (cm)	50.2	50.2	50.2	50.2
Espesor (cm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Masa (Kg)	5.5	3.5	7.2	7.2

Configuración del sistema: 12V

Fuente: BIMEX.

3.2 Tipos de controles de carga

Fig. 24 Controles de carga SCI



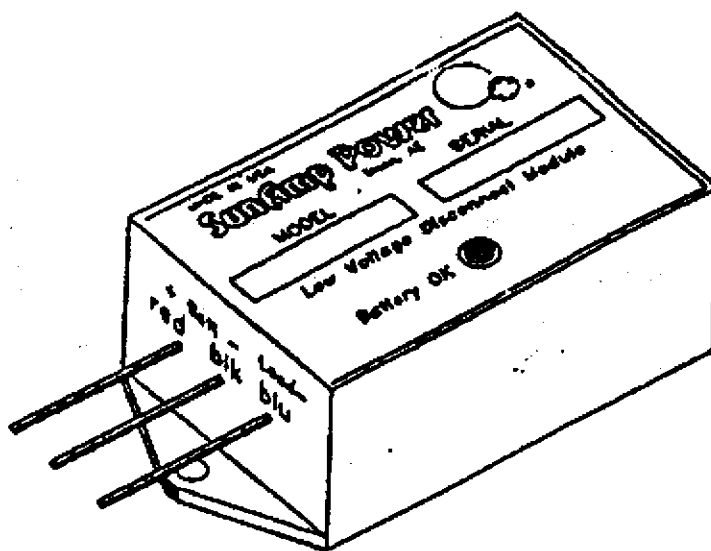
Fuente: BIMEX.

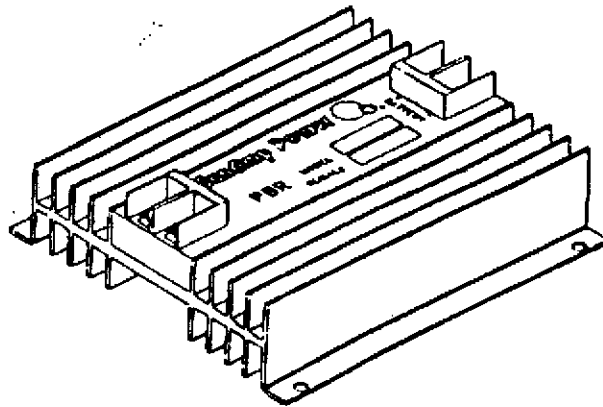
Tabla XII. Características de los controles de carga SCI

Modelo	Voltaje nom.	Corriente nom.	Opciones
ASC	6	1	A: compensación de temp.
	12	4	F: ajustabilidad.
	24	8	
	24	12	E: relevador LVD.
	24	16	
SC3/15	12	15	A: compensación de temp. E: relevador LVD.
SC3/30	12	30	A: compensación de temp.
	24	30	
SC2	12	50	A: compensación de temp.
	24	50	F: medición de Volt-amp.
	36	30	P: 50 amp carga (12, 24 V)
	48	30	T: carga total ajustable.

Fuente: BIMEX.

Fig. 25 Controles de carga SUNAMP POWER





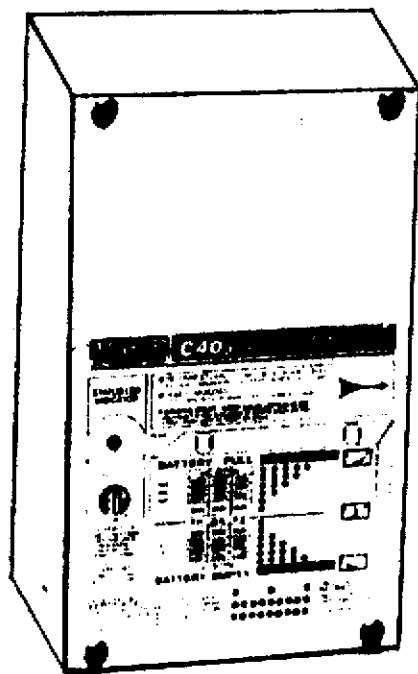
Fuente: DINTERSA.

Tabla XIII. Características de los control de carga SUNAMP POWER

		Corriente máxima nominal				
		4	8	10	15	18
12 V	PBR12-4		PBR12-8		PBR12-15LA	PBR12-18LA
					PBRL12-15LA-12	PBRL12-18LA-15
				PBRT12-10LA-8	PBRT12-15LA-12	PBRT12-18LA-15
						considerar series PBR12 + PBRE12
24 V	PBR24-4		PBR24-8	PBR24-10LA	PBR24-15LA	considerar series
					PBRL24-15LA-12	PBR24 + PBRE24
				PBRT24-10LA	PBRT24-15LA-12	
48 V	PBR48-4			PBR48-10LA		considerar series
				PBR48-10LA		PBR48 + PBRE48
				PBRT48-10LA-8		

Fuente: DINTERSA.

Fig. 26 Control de carga TRACE



Fuente: LUEX.

Tabla XIV. Características de los controles de carga TRACE

Modelo	Volt. nom.	Corr. nom.	Largo	Ancho	Espesor	Masa
C30A	12/24 V	30	22.9cm	12.7cm	5.1cm	1.5kg
C40	12/24/48 V	40	22.9cm	12.7cm	5.1cm	1.8 kg

Fuente: LUEX.

4. LA EVOLUCIÓN DE LOS PROYECTOS COMUNITARIOS

4.1 Metodología

Para este estudio se entrevista a 88 familias en 11 comunidades en Baja Verapaz y El Progreso. Además de las entrevistas formales e informales se visitan comunidades en Zacapa, Baja Verapaz y alta Verapaz. Se hacen un total de seis visitas a comunidades en el área de San Agustín, El Progreso, mientras se hacen cinco a las comunidades cerca de La Canoa. Se hace una visita a la aldea Los Paxtes, Baja Verapaz. (16.2)

4.2 Antecedentes

La idea de facilitar una opción de crédito completa para sistemas fotovoltaicos es nueva, pero los proyectos comunitarios de energía solar no lo son. La Fundación Solar implementa proyectos de iluminación desde 1993, cuando inaugura su primer proyecto en conjunto con la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA). El proyecto de La Canoa representa la culminación de más de cuatro años de desarrollo del programa y también, representa la coordinación de estas instituciones.

La Fundación Solar se funda en Guatemala, en 1992, bajo la ayuda del programa CARES y "Winrock International", con la meta de promover fuentes de energía nuevas y renovables en Guatemala y en toda América Central.

Desde su inicio, la Fundación dedica sus esfuerzos a llevar luz a aldeas donde el consumo mínimo de electricidad de las familias, la alta dispersión de sus casas y su distancia de la red actual contribuyen a que el costo de electrificación convencional es prohibitivo. En 1993, se empieza la promoción de los proyectos de energía solar. (16.2)

4.3 El proyecto piloto

Al empezar con los proyectos fotovoltaicos, ni NRECA/CARES ni EEGSA tienen deseo de crear una demanda de energía donde no existe por lo cual consideran aquellas aldeas que mostraron interés significativo en iluminación.

En diciembre 1993, bajo la ayuda de NRECA/CARES y la Fundación Solar, con la institución de crédito, CREDIEEGSA, se selecciona la aldea de San Buenaventura para su primer proyecto fotovoltaico. En San Buenaventura EEGSA exige que cada familia contribuya con una tercera parte del costo de su sistema. La mayoría de las familias no podían alcanzar aun esta suma de \$123.6, por lo cual CREDIEEGSA ofreció opciones flexibles de crédito, con una tasa de interés anual de 24%. El depósito original, y una cuota mensual de \$0.86, estaban puestos en una cuenta para la reposición de la batería, al finalizar 1996, todas menos una familia cancelan su crédito. (16.2-3)

4.4 Los proyectos de donación

Con el interés y éxito en el proyecto de San Buenaventura, la Fundación Solar sigue trabajando con otras organizaciones, como Plan Internacional. PLAN lleva luz a 25 comunidades entre 1994 a 1997 e instala un total de 643 sistemas fotovoltaicos. Debido a la estructura de PLAN como donante y la situación económica en las comunidades donde trabaja, los beneficiarios de estos proyectos no tienen que contribuir al costo inicial de los sistemas, solo se les exige la cuota mensual para la reposición de la batería y de esta forma mejorar la posibilidad de sostenibilidad del proyecto. (16.3)

4.5 Hacia un programa de crédito

La idea de implementar un programa de crédito para los sistemas fotovoltaicos se origina en San Buenaventura, aunque, la comunidad pagó con gran rapidez su préstamo, como se mencionó anteriormente, la Fundación Solar no siguió con proyectos similares durante tres años. Pero, en los años recientes, la opción de crédito se ha vuelto más atractiva.

El caudal de fondos internacionales para desarrollo no es lo que fue los años 80. El Congreso de Los Estados Unidos, por ejemplo, corta drásticamente el presupuesto, y en general dirige sus programas más hacia la Comunidad de Estados Independientes. Aun los fondos que llegan al país como apoyo al proceso de seguimiento a los acuerdos de paz, la gran mayoría se usa para reformas institucionales.

Muchos programas, en donde el equipo se regala falla porque la gente deja de usarlo o porque lo vende. Para asegurar mejor participación, compromiso y sostenibilidad del proyecto, la Fundación solar reconoce que la comunidad debe de hacer una contribución económica que sea representativa.

El hecho de ser dueño del sistema, cambia la relación entre las comunidades y las organizaciones asistentes. En vez de ver las familias como beneficiarios, quienes deben de estar agradecidos por cualquier ayuda, las instituciones tienen que verlos como clientes, a quienes tienen el compromiso de proveer servicios de alta calidad. (16.3-4)

4.6 Los proyectos de crédito parcial

En 1996, PLAN que siempre dona sus proyectos decide con la Fundación Solar, apoyar un proyecto fotovoltaico en la comunidad de Los Paxtes, municipio de Salamá, departamento de Baja Verapaz, combinando donación y crédito.

Algunos meses después sigue con proyectos en cinco comunidades de San Agustín, El Progreso. En total se instalaron 133 sistemas fotovoltaicos con crédito parcial, en donde PLAN financia aproximadamente la mitad del costo de los sistemas y la gente paga el resto.

Génesis Empresarial, una organización de crédito, ofrece préstamos a las familias; en planes de uno, dos o cuatro años, con una tasa de interés del 32% anual. La tasa de Génesis no es baja; es aun más alta que la tasa bancaria de 24%, pero Génesis es la única empresa que da préstamos a dueños de microempresas y pequeños agricultores en las áreas rurales.

Tomando en cuenta que la mayoría de la gente en todas las comunidades están al día en sus pagos, tal es el caso de Los Paxtes, la Fundación Solar decide seguir trabajando con crédito y expandirlos hasta incluir créditos completos. (16.4-5)

4.7 Crédito completo

Tres años después de que la Fundación Solar y CREDIEEGSA completan su primer proyecto juntos, se reúnen nuevamente. La organización Energía y Compañía (E & Co) de Los Estados Unidos, crea un fondo revolvente, con una meta inicial de 100 créditos para sistemas fotovoltaicos de iluminación. Debido al conocimiento local del proyecto de San Buenaventura, conjuntamente se decide regresar a la misma área, considerando que la gente ya está familiarizada con la tecnología, al igual que las organizaciones participantes. (16.5)

4.7.1 Prospección de las comunidades

El primer paso en el proyecto es la prospección de comunidades, hecha por representantes de la Fundación Solar y los colaboradores de las comunidades.

Estos visitan las comunidades para explicar la propuesta a los comités. Las comunidades que recibieron visitas son: La Canoa, Chivac, El Zapote, Estancia Grande, El Amate, y Las Tejas, todas ubicadas en Salamá, Baja Verapaz. Después de dos visitas de prospección y promoción, 37 familias de las aldeas El Zapote, El Amate, Estancia Grande y La Canoa deciden participar en los proyectos. Estas comunidades fueron capaces de demostrar no solo interés sino también, la posibilidad financiera para comprar los sistemas con crédito.

Todas las aldeas que considera la Fundación Solar para sus proyectos ya tienen servicios básicos como agua y escuelas. De ninguna manera intenta la Fundación Solar, proponer proyectos fotovoltaicos en lugares donde no se cumple con las necesidades primarias de las comunidades. Otro aspecto interesante es que las comunidades que están involucradas con el proyecto de CREDIEEGSA tienen ingresos anuales, individuales alrededor de Q 4,340.00. (16.5-7)

4.7.2 Descripción del equipo

En la mayoría de los proyectos la Fundación Solar ofreció dos opciones de sistemas fotovoltaicos: uno con solamente dos lámparas y el otro con capacidad para tres lámparas y grabadora o televisor. Generalmente, la gente escoge la segunda opción. (16.8)

4.8 Lecciones aprendidas

La lección más importante de los primeros proyectos es que para que funcione un proyecto, la aldea tiene que contar con líderes comprometidos y dinámicos en quienes la gente confie.

Los comités son lo más importante en la etapa inicial del proyecto, son necesarios para motivar y recordar a la gente sobre las reuniones para las capacitaciones técnicas, para organizar la recolección de fondos, para organizar la tienda de repuestos y el mantenimiento de los sistemas.

Las baterías duran aproximadamente tres años y cuestan alrededor de \$ 100.00. Por esta razón, la Fundación recomienda que las familias empiecen a ahorrar desde el inicio del proyecto. No obstante, es difícil en algunas aldeas, convencer a las familias de ahorrar Q20.00 mensualmente para poder reponer las baterías cuando éstas se agoten, y es aun más difícil cuando se habla de proyectos con crédito donde su prioridad es pagar el préstamo.

En los proyectos La Fundación Solar debe invitar a representantes de los comités a la apertura de las ofertas presentadas por diferentes empresas proveedoras, aunque a veces no entiendan todas las discusiones, están satisfechos que el proceso es honesto.

Después de implementar los proyectos, la Fundación Solar se da cuenta que métodos flexibles de pagos son indispensables, así que familias pueden pagar en planes mensuales, semestrales o anuales. En el proyecto reciente de CREDIEEGSA, se extiende aun más esta flexibilidad, implementando créditos a nivel individual y no grupal.

En el caso de crédito completo se establece claramente, después de poco tiempo, que el formulario de CREDIEEGSA para solicitar crédito no es apropiado para las comunidades, por lo cual se hacen algunos cambios. Estos cambios incluyen constancias de alcaldes auxiliares sobre la residencia de los solicitantes, porque la mayoría de las familias no tienen títulos de su tierra, así que no pueden presentar prueba de su residencia en el área rural; permiso de llenar solicitudes a mano en vez de máquina; permiso de tomarle fotografías a las cédulas en lugar de fotocopiarlas.

Los primeros proyectos muestran que sin capacitaciones y seguimiento, la probabilidad de que el equipo se use incorrectamente y funcione erróneamente es alta, por lo tanto, una de las prioridades de La Fundación Solar es la capacitación de las mujeres, puesto que ellas son las que pasan más tiempo en las casas y le dan el mayor servicio al sistema.

Las estufas mejoradas disminuyen aun más el humo, especialmente en la cocina donde pasan la mayoría de su tiempo los niños y las mujeres. Esta disminución de humo asegura una vida más larga para las lámparas. De igual importancia, las estufas requieren entre 40 y 60% menos leña que fogones abiertos. Además, el programa de estufas complementaría las metas del programa fotovoltaico.

La respuesta de las comunidades hacia el programa de crédito es mixta. Como se nota anteriormente, algunas familias que no expresan interés al principio del proyecto, después deciden participar. Además, la mayoría de las familias están al día en sus pagos y expresan su confianza en CREDIEEGSA, sin embargo, el número de familias participantes es menos del que se esperaba. En el Chivac, la gente dice que el costo es demasiado alto, aún con una opción de crédito. El comité de Las Tejas, que es predominantemente indígena dice que la luz eléctrica no es una necesidad prioritaria para ellos. (16.8-12)

5. GUÍA OPERATIVA PARA EJECUTAR PROYECTOS DE I.F.V. APOYADO POR PLAN INTERNACIONAL Y FUNDACIÓN SOLAR

La guía está organizada en dos grandes áreas:

1. **Área técnica:** engloba todos los aspectos relacionados con la aplicación de la tecnología en determinados lugares.
2. **Área organizacional:** engloba los aspectos de participación de la comunidad durante todas las fases, a fin de maximizar las probabilidades de permanencia y sostenibilidad del proyecto.

Estas dos áreas estarán incluidas dentro de tres fases de realización de un proyecto de iluminación fotovoltaica:

1. **Pre-ejecución:** en esta fase se incluyen las siguientes actividades: selección de la comunidad, prospecciones técnico-organizacional, y promoción.
2. **Ejecución:** las actividades que aquí se deben considerar son: diseño técnico de los sistemas, licitación, compra, capacitación comunitaria, capacitación de los subcomités.

3. **Post-ejecución:** esta es la fase más extensa en cuanto a tiempo, pues se realizará durante el período que la organización tenga presencia en la comunidad. Las actividades a realizar son: auditoría; visitas del instalador y seguimiento anual.

5.1 Fase de pre-ejecución

La fase de pre-ejecución constituye el primer eslabón de este modelo, la cual permite evaluar a las comunidades y establecer la posibilidad de implementar un proyecto de iluminación fotovoltaica. Esta actividad debe estar a cargo del facilitador de Plan Internacional y es absolutamente indispensable que la iniciativa de un proyecto solar se origine en la comunidad. La iluminación constituye un medio para impulsar actividades productivas para el desarrollo de las comunidades; sin embargo, no es vital y por lo tanto, no se puede promover esta clase de proyectos en aquellos lugares en donde no cuenten con los servicios básicos de agua, vías de acceso, escuela (ver anexo 1).

5.1.1 Prospección técnica

Es una investigación previa al desarrollo de un proyecto, en la cual se revisan los aspectos de mayor importancia, tales como su clima, dispersión de las casas, tipos de techos, ventana solar y vías de acceso. Esta actividad está a cargo de un especialista en energía solar, esta persona coordina la visita a la comunidad con el facilitador de Plan Internacional. La prospección técnica permite recopilar las necesidades energéticas de la comunidad y establecer un diseño técnico que sea la base para la cotización de los equipos respectivos.

Los pasos para la elaboración de la prospección técnica son los siguientes:

- Mapas en relieve, mapas de escala ampliada, clima de estaciones cercanas. Todo ello le permitirá tener una idea del clima y acceso a la comunidad.

- Se investiga si la comunidad está contemplada dentro de los planes de electrificación convencional.
- Visitar la comunidad, preferiblemente en compañía del facilitador encargado de la comunidad y de por lo menos un miembro del comité.
- Se inicia la visita determinando las distancias y calidad de las rutas de acceso a la comunidad, ya que esto sirve para tener idea de la distancia que habría de tener para cubrir con posteo en caso de pensarse en electrificación convencional.
- En la comunidad se revisa la frondosidad de los árboles que coexisten con las casas, la dispersión de las casas, sus ambientes y materiales de construcción.
- De acuerdo con el informe del representante local del comité y el facilitador, se determina cuales son los métodos de iluminación en uso, la utilización de aparatos de baterías, y como fruto inicial, se cuantifica el costo del método actual de iluminación.
- También se estudia la radiación solar del lugar.
- Se platica con alguno de los vecinos acerca de época y clase de lluvia que se tiene en el lugar. Se pregunta sobre el régimen de nubes locales.
- Se indaga también si ya se conoce en la comunidad algún sistema fotovoltaico y si ya se han realizado gestiones para electrificación convencional, y se establece a qué distancia está el pueblo electrificado más cercano.

- Si el nivel de insolación parece adecuado, se procede a dar su visto bueno técnico al proyecto. Debe quedar claro que no basta con este visto bueno, hace falta el visto bueno del prospector socio-organizacional.

5.1.2 Prospección organizacional

La prospección organizacional es el siguiente paso en el proceso de selección de una comunidad y constituye la evaluación determinante para continuar con el proyecto. Consiste en evaluar la capacidad y disposición de la comunidad, para hacerse responsable de la administración del proyecto y del aprovechamiento adecuado de los equipos a instalarse. La prospección organizacional permite concientizar a los usuarios sobre la importancia de su activa participación permanente en el proyecto.

Esta actividad está bajo la responsabilidad de la Fundación Solar, en apoyo a los facilitadores de Plan Internacional. Es importante mantener un alto grado de comunicación y coordinación, para tener un proceso ágil en la ejecución de los proyectos. Los pasos a seguir son:

- Definir con todos los miembros de la junta directiva, si se encuentran dispuestos a asumir la responsabilidad de administrar el proyecto.
- Informarles sobre cada una de las responsabilidades que asumirán los miembros de la Junta Directiva del comité.
- LISTADO DE FAMILIAS INTERESADAS: la primera actividad dentro del proyecto que realiza la Junta Directiva del comité es elaborar un listado con los nombres de las familias interesadas en participar en el proyecto (ver anexo 1).

- **RECOLECCIÓN DEL FONDO SEMILLA:** el fondo semilla constituye la formación de un fondo que sirve de base para la creación de una tienda de repuestos y accesorios de los sistemas de iluminación fotovoltaica y la cual ha de estar ubicada en la comunidad.

Es recomendable que la aportación por familia para el fondo semilla no sea menor de diez quetzales y deben ser entregados en el momento de ser incluidos en la lista de participantes.

El comité debe tener presente que el fondo semilla es un fondo de reserva que se utiliza para la compra de repuestos y accesorios de los sistemas de iluminación fotovoltaica.

- **APOYO AL EQUIPO TÉCNICO:** al momento de instalar los sistemas fotovoltaicos, el comité debe participar activamente con los instaladores, a fin de aprender y conocer los equipos.

El comité debe tener presente que el equipo técnico es un equipo de apoyo que se utiliza para la mantenimiento de los sistemas de iluminación fotovoltaica.

- **RECOLECCIÓN DEL PAGO PARA REPOSICIÓN DE BATERÍAS:** esta actividad se realiza cuando cada familia ya cuente con su sistema fotovoltaico:

La batería tiene un costo aproximado de Q 700.00 y su duración estimada es de 30 meses, si su uso es adecuado. Lo anterior, indica que para que una familia cuente con un fondo para reponer la batería cuando esta ya no funcione, debe ahorrar por lo menos Q 20.00 cada mes. Esta actividad constituye uno de los pilares sobre los que descansa la sostenibilidad de un proyecto fotovoltaico.

Cuando el comité esté de acuerdo en participar activamente en el proyecto y hacerse cargo de la administración del mismo, se les solicita que convoquen a una asamblea de toda la población interesada en participar en el proyecto.

5.1.3 Promoción

Si se establece que el comité se hace responsable del proyecto, se informa al comité que se va a instalar un sistema de iluminación fotovoltaica demostrativo, para que los miembros de la comunidad lo puedan observar funcionando y definan si desean participar en el proyecto.

Durante la promoción, la Junta Directiva del comité convoca a una reunión a todos los interesados en participar en el proyecto, a fin de presentarles en detalle el contenido de un documento denominado CONVENIO SUSCRITO ENTRE EL COMITÉ DE DESARROLLO Y FAMILIAS A SER BENEFICIADAS POR EL PROYECTO DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA (ver anexo 2).

Seguidamente, el facilitador revisa todos los convenios firmados y presenta a la Junta Directiva del comité, el CONVENIO SUSCRITO ENTRE EL COMITÉ DE DESARROLLO Y PLAN INTERNACIONAL PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA (ver anexo 3).

5.2 Fase de ejecución

5.2.1 Diseño técnico del proyecto

Como fruto de la prospección el especialista y el facilitador deciden las características que convienen del sistema (número de lámparas y su tamaño), o sea, el dimensionamiento del conjunto fotovoltaico. Con Plan Internacional se trabajan dos paquetes genéricos: uno de dos lámparas y el otro de tres lámparas. Las lámparas son de 20 vatios o de 8 vatios. Los diseños fueron inicialmente trabajados con colectores autoregulados y luego con colectores estándar con controles de carga.

5.2.2 Licitación del proyecto

La licitación tiene como objetivo que la mayor cantidad posible de empresas que venden equipos fotovoltaicos puedan presentar ofertas, para obtener la mejor calidad de equipo al más bajo precio posible. Sus etapas son:

1. Envío de las solicitudes de oferta.
2. Concurso de asignación del ganador.
3. Notificaciones posteriores.

5.2.2.1 Envío de solicitudes de oferta

Con base en un listado actualizado de empresas distribuidoras de equipo solar, presentado por la Fundación Solar a Plan Internacional, se hacen envíos desde la oficina de Plan más pertinente vía faxes, solicitudes de ofertas a las diferentes empresas.

5.2.2.2 Concurso para asignación de ganador

Una vez recibidas las ofertas de cotización, éstas son guardadas sin abrirse en un lugar seguro. El facilitador y el asesor técnico de la Fundación Solar fijan una fecha para realizar el concurso de asignación del ganador.

Para el concurso es imprescindible que estén presentes al menos un representante del comité, un representante de Plan Internacional y un representante de Fundación Solar. Con base en las ofertas que cumplan con los aspectos técnicos, se procede a efectuar un descarte por precios ofertados. Puede darse un empate en costos, en cuyo caso se procede a un desempate de acuerdo a la calidad y capacidad del equipo que ofrecen las empresas.

5.2.2.3 Notificaciones posteriores

Como producto del concurso se elabora una acta de nombramiento de ganador y notas de agradecimiento a los concursantes.

5.2.3 El contrato

Al tener la empresa ganadora, lo que procede es realizar la contratación de la misma. La elaboración y firma del contrato es responsabilidad de Plan Internacional. El contrato es el documento legal que ampara un determinado proyecto y debe realizarse con máxima claridad. El contrato puede tomar diferentes características, según la norma establecida por cada empresa contratante y la contratada, pero en el caso de Plan existe ya un patrón.

5.2.4 Capacitación técnico-administrativa

La organización adecuada de esta actividad es de gran importancia. El facilitador debe coordinar con todos los miembros del comité una sesión, la cual está organizada en dos etapas:

5.2.4.1 Organización de los subcomités

Generalmente, las juntas directivas de los comités están integradas por siete personas que ocupan los siguientes cargos: presidente, vicepresidente, tesorero, secretario, tres vocales. Estas siete personas deben realizar las siguientes funciones:

- Administración de la tienda comunal de repuestos y accesorios para los sistemas fotovoltaicos.
- Recolección y administración de los pagos para reposición de batería.

- **Mantenimiento de los sistemas solares y supervisión del adecuado uso de los mismos.**

Para cada una de estas tres funciones, la Junta Directiva del comité se organiza en subcomités de trabajo, los cuales están constituidos por dos personas cada uno.

5.2.4.2 Capacitación de los subcomités

En esta tercera parte, los subcomités se dividen: el subcomité de mantenimiento pasa a un salón para iniciar la sesión de capacitación técnica, los subcomités de tienda comunal y recolección del pago por reposición de batería, inician la sesión de controles contables. El presidente puede participar en cualquiera de las dos sesiones.

5.3 Fase post-ejecución

5.3.1 Auditoría técnica de la instalación

Una vez realizada la instalación de un proyecto y previo al pago final del mismo, se realiza una auditoría técnica del producto y trabajo realizado. En esta auditoría técnica, se revisa por parte del experto en energía solar de Fundación Solar, cada una de las casas servidas por el proyecto. El objetivo es detectar anomalías, por tanto, se lleva a cabo a la mayor brevedad posible una vez finalizada la instalación.

Una auditoría puede detener el pago final de un proyecto si se detectan anomalías que así lo ameriten. Una auditoría técnica es un mecanismo de control de calidad de lo entregado por la empresa instaladora-vendedora.

5.3.2) Visitas del instalador

Se ha establecido como norma, que cada empresa instaladora realice tres visitas de revisión técnica, las cuales se ejecutan de la siguiente forma: 30, 60, y 90 días después de concluida la instalación.

Después de cada instalación la empresa instaladora debe remitir un informe escrito a Plan Internacional con copia para el experto de Fundación Solar, informando detalladamente la situación técnica de los sistemas.

5.3.3) Seguimiento anual

Es recomendable que anualmente se realice una evaluación de cada una de las comunidades atendidas por el proyecto de iluminación solar. Esta actividad está a cargo de la Fundación Solar, y de cada evaluación anual, la Fundación remite un informe a Plan Internacional. De las conclusiones y recomendaciones de dicho informe, se elabora con el coordinador y facilitador, un plan de acción para fortalecer las debilidades del proyecto.

6. PROYECTO DE ILUMINACIÓN F.V. DE LA COMUNIDAD SAN MIGUEL

6.1 Fase de pre-ejecución

6.1.1 Selección de la comunidad

El interés surge dentro de la comunidad, de modo que en septiembre de 1994 envían una solicitud a Plan Internacional donde piden que se les ayude, para realizar un proyecto comunitario sobre iluminación fotovoltaica; la solicitud va firmada por 37 personas. La comunidad San Miguel se encuentra bajo la cobertura de Plan Internacional, y cuenta con la ventaja de estar organizada por un comité.

6.1.1.1 Información técnico-organizacional

A continuación se dan algunos datos tomados de la prospección técnica y la prospección organizacional.

- Cómo es el acceso a la comunidad: solo en vehículo de doble tracción.
- Población total de la comunidad: 1,070 personas.
- Familias que conforman la comunidad: 153 familias.
- Familias interesadas en el proyecto: 37 familias.
- Distancia al punto de electrificación más cercano: 12 Km.
- Distancia al mercado más cercano: 12 Km.
- Actividad más importante de la comunidad: agricultura.
- Cuenta con servicio de agua potable: sí.

- Cuenta con letrinas: 50% de la población.
- Tienen puesto de salud: sí.
- Tienen escuela, y último grado: 6º grado.
- Qué porcentaje de los adultos saben leer y escribir: 45%.
- La comunidad tiene una necesidad real de energía eléctrica: sí.
- Estado de la organización local: comité.
- Existe un aporte comunitario para el proyecto: no, solo se da la cuota de Q 10.00 para la tienda comunal de repuestos, y Q 20.00 mensuales para la reposición de la batería.
- Cuál es la principal fuente de financiamiento para el proyecto: Plan Internacional dona en usufructo los sistemas de iluminación fotovoltaica.
- Fuentes de energía actuales: gas, candelas, baterías.
- Existe una fuente de agua, con potencial hidroeléctrico: no.
- Existe cobertura vegetal: muy poca.
- Características topoclimáticas: Coordenadas: latitud norte: 14°52'48'', longitud oeste: 89°42'56'', altitud: 940 m.s.n.m., temperatura ambiente promedio en el día: 37 °C.
- Describir las condiciones de nubosidad durante el año: Buena parte de tiempo claro.
- Estación meteorológica de referencia para el lugar: La Fragua, Zacapa, región III, clave 220301, latitud 14°57'51'', longitud 89°35'04'', elevación 210 m.a.n.m.
- Promedio de horas-luz: 12
- Promedio de horas-sol: 7.6
- Promedio de horas-pico: 5.88
- Los techos de las casas tienen libre exposición directa al sol: sí.
- Existe experiencia en la comunidad o cerca, con algún sistema fotovoltaico o manejo de baterías de carro: no hay experiencia, ni existe aldea vecina con sistema de iluminación fotovoltaica.

6.2 Fase de ejecución

6.2.1 Diseño técnico del proyecto

De acuerdo a las proyecciones realizadas, se dimensiona el sistema de I.F.V. de acuerdo al balance energético explicado en el tema 2.5 (capítulo 2).

El consumo recomendado por el especialista de Fundación Solar es el siguiente

Carga	Uso	Tiempo	Potencia
Lámpara No. 1	18:00 a 19:00	1 hora	20 W
Lámpara No. 2	18:00 a 21:00	3 horas	20 W
Lámpara No. 3	19:00 a 20:30	2.5 horas	20 W
TV (BN)	19:00 a 21:00	2 horas	20 W

$$E_c = 20 \text{ W} \times 1 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 3 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 2.5 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 2 \text{ h}$$

$$E_c = 170 \text{ W-h}$$

El nivel de insolación para los meses desfavorables es aproximado a 5 H-P para el oriente del país (Huité, Zacapa). Las pérdidas en el sistema se representan con un 85%. El sistema se sobredimensiona con un 20%.

$$P_m = \frac{E_c \times F_s}{H-P \times N_{\text{sist}}} = \frac{170 \text{ W-h} \times 1.20}{5 \text{ H-P} \times 0.85} = 48 \text{ W}$$

El tiempo de autonomía por la batería es de 4 días para las regiones de buena insolación (Huité, Zacapa). El voltaje nominal de la batería es 12 V. La descarga permisiva para conservar la vida útil de la batería es del 80%.

$$C_b = \frac{A_u \times E_c}{V_b \times f_u} = \frac{4 \text{ d} \times 170 \text{ W-h/d}}{12 \text{ V} \times 0.8} = 70.8 \text{ A-h}$$

La capacidad del control de carga está en función del voltaje y del amperaje máximo de las cargas. Si la carga se conecta toda a un mismo tiempo, la corriente es de $20 \text{ W} / 12 \text{ V} = 1.67 \text{ A}$, y un total de $1.67 \times 4 \text{ cargas} = 6.67 \text{ A}$. Por lo tanto, la capacidad del control de carga no debe ser menor a 7 amperios.

Se recomienda usar cable AWG 10 para el trayecto de módulo solar a control y batería, y cable AWG 14 para trayectos de control a las cargas (ver tabla VI). El módulo debe ser orientado de norte a sur, con una inclinación de 15° hacia el sur.

Se concluye en someter a licitud un paquete de I.F.V. de la siguiente manera:

- 1 panel F.V. no menor de 50 vatios, 12 v.
- 1 batería ciclo profundo no menor de 100 A-h, 12 v.
- 1 regulador de carga de 12 v, y no menor de 7 A.
- 3 lámparas fluorescentes, 20w/12 v.

6.2.2 Licitación del proyecto

Las compañías que participan en esta actividad son las siguientes: DINTERSA, BIMEX, LUEX, TECAL, Compañía Agro-Comercial. Las prioridades evaluadas de las ofertas son: precio, características técnicas, condiciones de pago y tiempo de entrega. En presencia de la Junta Directiva del comité de la comunidad San Miguel, los facilitadores de Plan Internacional, el Director de Plan Internacional, y el especialista de Fundación Solar; se elige como ganadora a la empresa DINTERSA.

6.2.3 Contrato

Este es celebrado en Zacapa, en febrero de 1995, participando en éste, Larry Stephen Wolfe, representante legal de la organización de desarrollo PLAN INTERNACIONAL; Mario René Juárez, presidente de la Junta Directiva del comité de la aldea San Miguel; y Jorge Roberto Arimany Comas, representante legal de la empresa ENERGÍA DINÁMICA, SOCIEDAD ANÓNIMA, DINTERSA.

Se detalla el equipo de iluminación F.V. comprado; incluyendo también la instalación y visitas de seguimiento al proyecto.

- 1 panel solar Kyocera LA61J51 (51 watts), 12 v.
- 1 control de carga Sun-Amp PBRL-12-15LA-12, 15 amp, 12 v.
- 1 batería Trojan, ciclado profundo 27-TM, 105 amp-horas.
- 3 lámparas fluorescentes 20 watts, 12 v.
- 1 tomacorriente Ticino polarizado
- 8 metros de cable TSJ2X10.
- 35 metros de cable SPT2X14.
- 1 poste tratado con sales de cobre por inmersión y a presión.
- 1 caja de seguros.
- 3 botellas de agua destilada.

Precio de cada sistema solar fotovoltaico: Q 4,100.00

Precio de 37 sistemas solares fotovoltaicos: Q 151,700.00

El precio anterior incluye: transporte, instalación, y visitas de seguimiento, accesorios, y pláticas de orientación sobre el funcionamiento de los sistemas.

Tiempo de entrega: 60 días a partir del contrato.

Forma de pagos: 75% al firmar contrato y 25% después de la instalación.

Estando todos en común acuerdo, firman el contrato las tres personas arriba mencionadas.

6.3 Fase de post-ejecución

6.3.1 Auditoría técnica de la instalación

Esta se realiza por el Ing. Hugo Arriaza, especialista en iluminación fotovoltaica de Fundación Solar. Encuentran todo en buen estado, sistemas instalados y operando tal como se especifica en el contrato. El especialista presenta el informe aprobado a Plan Internacional y Plan procede a pagar el 25% restante a la empresa.

6.3.2 Informe actual

Esta información es actual y tomada durante el desarrollo de la tesis, enfoca las bases en que descansa la sostenibilidad del proyecto y un reporte técnico de los sistemas de I.F.V.

- **Está en función la Junta Directiva del comité de vecinos de la comunidad: sí.**
- **Funciona la tienda de repuestos: funciona hasta hoy.**
- **Funciona el subcomité de mantenimiento: sí.**

- Se recolecta el dinero para la reposición de la batería: inicialmente la mayoría lo hizo, luego dejaron de hacerlo todos. El dinero recolectado no se devuelve sino que se usa para algún proyecto futuro para la misma aldea. Los sistemas trabajan todavía con la batería de instalación.
- Está contenta la gente con el proyecto de I.F.V.: sí, muy contenta porque Plan Internacional donó los sistemas totalmente en usufructo.

Tabla XV. Evaluación de los sistemas de I.F.V. de San Miguel

No	Nombre	Panel			Control	Batería voltaje
		Limpieza	Orientación	Radiación		
1	Mario Juárez	buena	correcta	no sombras	anulado	13.4
2	Rodrigo Saguil	mala	correcta	no sombras	anulado	11.0
3	Luis Juárez	buena	correcta	no sombras	anulado	13.7
4	Oliverio Juárez	buena	correcta	no sombras	anulado	3.0
5	Roni Mateo	buena	correcta	poca sombra	funciona	13.4
6	Alejandro Matero	buena	correcta	no sombras	funciona	13.4
7	Antonio Aguilar	buena	correcta	no sombras	funciona	13.5
8	Marvin Mateo	buena	correcta	no sombras	anulado	13.4
9	Ana Tejada	no se encontró a ninguno				
10	Claro Mateo	buena	7°NE	no sombras	funciona	13.0
11	Víctor Mateo	no se encontró a ninguno				
12	Baudilio Ramírez	buena	7°NO	no sombras	funciona	13.8
13	Clemente García	buena	7°NO	no sombras	anulado	9.2
14	Natanael Pérez	mala	correcta	no sombras	funciona	13.0
15	Ismael Pérez	buena	correcta	no sombras	funciona	13.8
16	Cesar López	buena	correcta	no sombras	anulado	12.6
17	Jovenal Asgustín	buena	correcta	no sombras	funciona	13.6
18	Leonel Pérez	buena	15°NE	no sombras	funciona	13.7
19	Miguel Martínez	buena	20°NE	no sombras	funciona	13.5
20	Cesar Pérez	buena	correcta	no sombras	funciona	13.3
21	Pedro Pérez	buena	correcta	no sombras	anulado	13.0
22	Miguel Sánchez	buena	correcta	no sombras	funciona	13.7
23	Francisco Pérez	buena	correcta	no sombras	anulado	12.7
24	Puesto de Salud	buena	10°NO	no sombras	funciona	7.2
25	Esc. San Miguel	buena	correcta	no sombras	funciona	12.1

26	Roberto García	buena	correcta	no sombras	anulado	13.7	
27	Mario García	buena	10°NO	no sombras	funciona	13.5	
28	Margarito García	mala	correcta	poca sombra	anulado	13.2	
29	Juan García	buena	correcta	no sombras	anulado	12.9	
30	Marco García	buena	correcta	no sombras	funciona	13.8	
31	Miguel García	buena	correcta	no sombras	funciona	13.3	
32	Antonio López	buena	7°NO	no sombras	anulado	12.5	
33	Erfidio López	buena	correcta	poca sombra	funciona	13.6	
34	Eulalio Mateo	no se encontró a ninguno					
35	Carlos Mateo	buena	7°NE	no sombras	anulado	11.1	
36	Alirio Hernández	buena	correcta	no sombras	anulado	12.2	
37	Humberto García	le robaron el panel					

Tabla XVI. Evaluación de los sistemas de I.F.V. de San Miguel

No	Batería		3 lámparas de 20W c/u				Vida prom. actual de tub.
	Nivel elect.	Limpieza	T.Q.	T.N.	T.C.	B.C.	
1	normal	buena	0	2	5	0	5 meses
2	bajo	buena	3	0	4	0	2 semanas
3	normal	buena	1	2	11	0	3 semanas
4	bajo	mala	3	0	6	0	1 mes
5	normal	regular	0	1	1	0	8 meses
6	normal	regular	1	2	3	0	5 meses
7	normal	buena	1	1	2	1	8 meses
8	alto	regular	1	2	3	0	5 meses
9	no se encontró a ninguno						
10	alto	mala	1	1	3	0	1 año
11	no se encontró a ninguno						
12	normal	regular	2	1	1	0	6 meses
13	bajo	regular	2	1	9	0	3 meses
14	normal	buena	0	3	0	0	no reemplazo
15	normal	buena	1	2	3	0	4 meses
16	alto	regular	2	1	5	0	3 meses
17	normal	buena	0	3	0	0	no reemplazo
18	normal	buena	2	0	5	0	2 meses
19	normal	buena	0	1	5	0	3 meses
20	bajo	buena	1	2	2	0	6 meses
21	bajo	regular	1	2	4	0	5 meses
22	alto	mala	0	3	0	0	no reemplazo

23	alto	buena	0	2	7	1	4 meses
24	bajo	mala	3	0	no se conoce información		
25	bajo	mala	2	1	no se conoce información		
26	normal	buena	0	2	5	0	1 meses
27	normal	regular	2	1	2	0	8 meses
28	normal	buena	2	0	4	0	3 semanas
29	alto	mala	1	2	5	0	2 meses
30	normal	buena	0	2	3	0	5 meses
31	bajo	buena	1	1	4	0	4 meses
32	bajo	buena	1	2	7	1	2 semanas
33	normal	regular	0	3	0	0	no reemplazo
34	no se encontró a ninguno						
35	bajo	regular	0	1	4	0	4 meses
36	normal	buena	0	2	4	0	1 mes
37	le robaron el panel						
Total			34	49	117	3	

Resultado de los sistemas inspeccionados:

- 30 paneles con buena limpieza visual.
- 9 paneles desorientados respecto al eje polar.
- 2 paneles con poca obstrucción a la ventana solar.
- 15 controles de carga anulados.
- 34 tubos quemados (T.Q.).
- 49 tubos negros de los extremos (T.N.).
- 117 tubos cambiados (T.C.).
- 3 balastos cambiados (B.C.).
- 3 sistemas fuera de servicio (3 T.Q.) = 9.09%
- 7 sistemas con dos lámparas fuera de servicio (2 T.Q.) = 21.21%
- 11 sistemas con una lámpara fuera de servicio (1 T.Q.) = 33.33%
- 12 sistemas con sus tres lámparas en servicio (0 T.Q.) = 36.36%

7. PROYECTO DE ILUMINACIÓN F.V. DE LA COMUNIDAD EL JUTE

7.1 Fase de pre-ejecución

7.1.1 Selección de la comunidad

El interés surge dentro de la comunidad, de modo que en junio de 1995 presentan una solicitud a Plan Internacional para que se les beneficie con el proyecto comunitario de iluminación fotovoltaica; la solicitud es firmada por 32 personas. La comunidad El Jute se encuentra bajo la cobertura de Plan Internacional, y cuenta con la ventaja de estar organizada por un comité.

7.1.1.1 Información técnico-organizacional

A continuación se dan algunos datos tomados de la prospección técnica y la prospección organizacional.

- Cómo es el acceso a la comunidad: solo en vehículo de doble tracción.
- Población total de la comunidad: 735 personas.
- Familias interesadas en el proyecto: 32 familias.
- Familias que conforman la comunidad: 105 familias.
- Distancia al punto de electrificación más cercano: 12 Km.
- Distancia al mercado más cercano: 12 Km.
- Actividad más importante de la comunidad: agricultura.

- Cuenta con servicio de agua potable: sí.
- Cuenta con letrinas: 25% de la población.
- Tienen puesto de salud: sí.
- Tienen escuela, y último grado: 6° grado.
- Qué porcentaje de los adultos saben leer y escribir: 40%
- La comunidad tiene una necesidad real de energía eléctrica: sí.
- Estado de la organización local: comité.
- Existe un aporte comunitario para el proyecto: no, solo se da la cuota de Q10.00 para tienda comunal de repuestos, y Q20.00 mensuales para la reposición de la batería.
- Cuál es la principal fuente de financiamiento para el proyecto: Plan Internacional dona en usufructo los sistemas de iluminación fotovoltaica.
- Fuentes de energía actuales: gas, candelas, baterías.
- Existe una fuente de agua, con potencial hidroeléctrico: no.
- Existe cobertura vegetal: muy poca.
- Características topoclimáticas: Coordenadas: latitud norte: 14°52'30", longitud oeste: 89°14'50", altitud: 1000 m.s.n.m., temperatura ambiente promedio en el día: 35 °C.
- Describir las condiciones de nubosidad durante el año: Buena parte del tiempo claro.
- Estación meteorológica de referencia para el lugar: La Fragua, Zacapa, región III, clave 220301, latitud 14° 57'51", longitud 89° 35'04", elevación 210 m.s.n.m.
- Promedio de horas-luz: 12
- Promedio de horas-sol: 7.6
- Promedio de horas-pico: 5.88
- Los techos de las casas tienen libre exposición directa al sol: sí.
- Existe experiencia en la comunidad o cerca, con algún sistema fotovoltaico o manejo de baterías de carro: La comunidad vecina San Miguel cuenta con iluminación fotovoltaica.

7.2 Fase de ejecución

7.2.1 Diseño técnico del proyecto

De acuerdo a las prospecciones realizadas, se dimensiona el sistema de I.F.V. de acuerdo al balance energético explicado en el tema 2.5 (capítulo 2).

El consumo recomendado por el especialista de Fundación Solar es el siguiente

Carga	Uso	Tiempo	Potencia
Lámpara No. 1	18:00 a 19:00	1 hora	20 W
Lámpara No. 2	18:00 a 21:00	3 horas	20 W
Lámpara No. 3	19:00 a 20:30	2.5 horas	20 W
TV (BN)	19:00 a 21:00	2 horas	20 W

$$E_c = 20 \text{ W} \times 1 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 3 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 2.5 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 2 \text{ h}$$

$$E_c = 170 \text{ W-h}$$

El nivel de insolación para los meses desfavorables es aproximado a 5 H-P para el oriente del país (Huité, Zacapa). Las pérdidas en el sistema se representan con un 85%. El sistema se sobredimensiona con un 20%.

$$P_m = \frac{E_c \times F_s}{H-P \times N_{\text{sist}}} = \frac{170 \text{ W-h} \times 1.20}{5 \text{ H-P} \times 0.85} = 48 \text{ W}$$

El tiempo de autonomía por la batería es de 4 días para las regiones de buena insolación (Huité, Zacapa). El voltaje nominal de la batería es 12 V. La descarga permisiva para conservar la vida útil de la batería es del 80%.

$$C_b = \frac{A_u \times E_c}{V_b \times f_u} = \frac{4 \text{ d} \times 170 \text{ W-h/d}}{12 \text{ V} \times 0.8} = 70.8 \text{ A-h}$$

La capacidad del control de carga está en función del voltaje y del amperaje máximo de las cargas. Si la carga se conecta toda a un mismo tiempo, la corriente es de $20 \text{ W} / 12 \text{ V} = 1.67 \text{ A}$, y un total de $1.67 \times 4 \text{ cargas} = 6.67 \text{ A}$. Por lo tanto, la capacidad del control de carga no debe ser menor a 7 amperios.

Se recomienda usar cable AWG 10 para el trayecto de módulo solar a control y batería, y cable AWG 14 para trayectos de control a las cargas (ver tabla VI). El módulo debe ser orientado de norte a sur, con una inclinación de 15° hacia el sur.

Se concluye en someter a licitud un paquete de I.F.V. de la siguiente manera:

- 1 panel F.V. no menor de 50 vatios, 12 v.
- 1 batería ciclo profundo no menor de 100 A-h, 12 v.
- 1 regulador de carga de 12 v, y no menor de 7 A.
- 3 lámparas fluorescentes, 20w/12 v.

7.2.2 Licitación del proyecto

Las compañías que participan en esta actividad son las siguientes: DINTERSA, BIMEX, LUEX, TECAL, Compañía Agro-Comercial. Las prioridades evaluadas de las ofertas son: precio, características técnicas, condiciones de pago y tiempo de entrega.

En presencia de la Junta Directiva del comité de la comunidad El Jute, los facilitadores de Plan Internacional, el Director de Plan Internacional, y el especialista de Fundación Solar; se elige como ganadora a la empresa BIMEX.

7.2.3 Contrato

Éste es celebrado en Zacapa, en septiembre de 1995, participando en éste, Roberto de Paz Paredes, representante legal de la organización de desarrollo PLAN INTERNACIONAL; Benedín Ramos, presidente de la Junta Directiva del comité de la aldea El Jute; y Carlos Antonio Bouscayrol Macal, representante legal de la empresa BIMEX LIMITADA.

Se detalla el equipo de iluminación F.V. comprado; incluyendo también la instalación y visitas de seguimiento al proyecto.

32	paneles solares marca Solarex VLX 53 policristalinos, 53 watts, 36 celdas, 10 años de garantía:	\$12,080.00
32	controladores Marca ASC CSI con HVD-LVD incorporado ASC 12/4-E:	\$ 2,289.60
32	acumuladores Marca Reliable de 12 voltios, 100 A-h., ciclo profundo, celdas abiertas, dos años de garantía:	\$ 2,560.00
96	lámparas fluorescentes de 20 watts, 12 v C.D.:	\$ 2,626.56
512	metros de cable THW calibre 10 en dos colores:	\$ 184.32
960	metros de cable SPT calibre 2x14:	\$ 307.20
32	tomacorrientes de sobre poner polarizados:	\$ 67.84
32	espigas para enchufes polarizados:	\$ 32.00
96	interruptores de sobre poner:	\$ 37.44
32	postes de madera rolliza:	\$ 508.16

32 soportes para sujetar el colector al poste:	\$ 496.00
32 juegos de fusibles y material de apoyo:	\$ 24.00
	<hr/>
	\$ 21,213.12
• Precio total del sistema fotovoltaico:	\$ 21,213.12
• Costo total de la instalación de los sistemas:	\$ 670.10
• Costo de la capacitación y demostración a los usuarios (sin costo)	
• Costo de las visitas de seguimiento:	\$ 90.00
	<hr/>
	\$ 21,981.22
• Tasa de cambio de Q 6.00/\$ 1.00:	Q 131,887.32
• Tiempo estimado de entrega: Inmediato.	
• Forma de pago: 50% al firmar el contrato y 50% al finalizar la instalación.	

Estando todos en común acuerdo, firman el contrato las tres personas arriba mencionadas.

7.3 Fase de post-ejecución

7.3.1 Auditoría técnica de la instalación

Esta se realiza por el Ing. Hugo Arriaza, especialista en iluminación fotovoltaica de Fundación Solar. Encuentran todo en buen estado, sistemas instalados y operando tal como se especifica en el contrato. El especialista presenta el informe aprobado a Plan Internacional y Plan procede a pagar el 50% restante a la empresa.

7.3.2 Informe actual

Esta información es actual y tomada durante el desarrollo de la tesis, enfoca las bases en las que descansa la sostenibilidad del proyecto y un reporte técnico de los sistemas de I.F.V.

- **Está en función la Junta Directiva del comité de vecinos de la comunidad: sí.**
- **Funciona la tienda de repuestos: nunca se instaló a pesar que se dieron Q 10.00 para el fondo semilla.**
- **Funciona el subcomité de mantenimiento: sí.**
- **Se recolecta el dinero para la reposición de la batería: inicialmente la mayoría lo hizo, luego dejaron de hacerlo todos. El dinero recolectado no se devuelve sino que se usa para algún proyecto futuro para la misma comunidad. Los sistemas trabajan todavía con la batería de instalación.**
- **Está contenta la gente con el proyecto de I.F.V.: sí, muy contenta porque Plan Internacional donó los sistemas totalmente en usufructo.**

Tabla XVII. Evaluación de los sistemas de I.F.V. de El Jute

No	Nombre	Panel		Control	Batería voltaje	
		Limpieza	Orientación Radiación			
1	Rafael Ramos	buena	7°NE	no sombras	anulado	8.4
2	Benigno Ramos	buena	correcta	no sombras	funciona	12.6
3	Domingo Ramos	buena	7°NE	no sombras	anulado	9.0
4	Oscar Ramos	buena	10°NO	no sombras	funciona	12.4
5	Rubén Ramos	buena	10°NO	no sombras	anulado	8.3
6	Salvador Ramos	buena	correcta	no sombras	anulado	10.2
7	Benedín Ramos	buena	correcta	no sombras	funciona	12.9
8	Margarita Agustín	buena	10°NO	poca sombra	anulado	11.1
9	Luis García	buena	15°NE	no sombras	funciona	12.5
10	Fidel Ramos	buena	10°NE	no sombras	anulado	9.8
11	Valentín Ramos	buena	correcta	poca sombra	funciona	12.3
12	Cristóbal Mateo	buena	7°NO	no sombras	anulado	9.8
13	Juan Agustín	buena	10°NO	no sombras	anulado	9.3
14	Constantino Agustín	buena	60°NO	no sombras	anulado	1.2
15	René Lorenzo	buena	correcta	no sombras	anulado	9.0
16	Santiago Pérez	mala	20°NE	no sombras	funciona	12.9
17	Francisco García	buena	10°NE	no sombras	funciona	12.3
18	Demasio Agustín	buena	correcta	poca sombra	anulado	9.4
19	Roselia Agustín	buena	7°NE	poca sombra	funciona	11.1
20	Héctor García	buena	20°NE	no sombras	funciona	13.0
21	José Agustín	mala	10°NE	no sombras	anulado	12.1
22	Hugo Agustín	buena	20°NO	no sombras	funciona	12.6
23	Felícito Lorenzo	buena	15°NO	no sombras	anulado	9.5
24	Oscar Mateo	no se encontró a ninguno				
25	Rosario Ramos	buena	correcta	poca sombra	funciona	12.3
26	María Hernández	buena	7°NE	no sombra	anulado	11.1
27	Elgar Ramos	buena	10°NE	no sombra	funciona	13.2
28	Esc. El Jute	buena	20°NO	no sombra	funciona	3.1
29	Guillermo Archila	buena	15°NE	no sombra	funciona	12.8
30	Mario Ramos	buena	correcta	no sombra	anulado	9.3
31	José Ramos	no se encontró a ninguno				
32	Saúl Agustín	buena	7°NO	no sombra	anulado	11.6

Tabla XVIII. Evaluación de los sistemas de I.F.V. de El Jute

No	Batería		3 lámparas de 20W c/u				Vida prom. actual de tub.
	Nivel elect.	Limpieza	T.Q.	T.N.	T.C.	B.C.	
1	normal	buena	0	3	3	0	6 meses
2	alto	buena	0	3	2	0	1 año
3	normal	buena	0	3	0	0	no reemplazo
4	normal	buena	0	2	1	0	5 meses
5	bajo	regular	2	1	3	0	6 meses
6	bajo	regular	1	2	2	0	1 año
7	normal	buena	0	3	0	0	no reemplazo
8	bajo	buena	1	2	2	0	7 meses
9	alto	mala	1	2	0	0	no reemplazo
10	normal	mala	2	1	0	0	no reemplazo
11	alto	regular	0	3	0	0	no reemplazo
12	alto	regular	2	1	1	0	8 meses
13	bajo	buena	2	1	2	0	6 meses
14	normal	mala	3	0	4	0	15 días
15	alto	buena	2	1	0	0	no reemplazo
16	alto	buena	0	3	0	0	no reemplazo
17	normal	mala	0	3	0	0	no reemplazo
18	alto	regular	2	1	2	0	8 meses
19	bajo	regular	0	3	0	0	no reemplazo
20	normal	mala	0	2	2	1	1 año
21	normal	regular	1	2	3	0	6 meses
22	normal	regular	0	3	0	0	no reemplazo
23	bajo	buena	1	2	2	0	6 meses
24	no se encontró a ninguno						
25	normal	buena	0	3	0	0	no reemplazo
26	normal	buena	0	2	2	0	8 meses
27	bajo	regular	0	3	0	0	no reemplazo
28	bajo	buena	3	0	no se conoce información		
29	normal	buena	0	3	2	0	1 año
30	alto	mala	1	2	2	0	3 meses
31	no se encontró a ninguno						
32	alto	mala	0	3	0	0	no reemplazo
Total			24	63	35	1	

Resultado de los sistemas inspeccionados:

- 29 paneles con buena limpieza visual.
- 22 paneles desorientados respecto al eje polar.
- 5 paneles con poca obstrucción a la ventana solar.
- 16 controles de carga anulados.
- 23 tubos quemados (T.Q.).
- 63 tubos negros de los extremos (T.N.).
- 35 tubos cambiados.
- 1 balastros cambiados (B.C.).
- 2 sistemas fuera de servicio (3 T.Q.) = 6.67%
- 6 sistemas con dos lámparas fuera de servicio (2 T.Q.) = 20%
- 6 sistemas con una lámpara fuera de servicio (1 T.Q.) = 20%
- 16 sistemas con sus tres lámparas en servicio (0 T.Q.) = 53.33%

8. PROYECTO DE ILUMINACIÓN F.V. DE LA COMUNIDAD LA OSCURANA

8.1 Fase de pre-ejecución

8.1.1 Selección de la comunidad

El interés surge dentro de la comunidad, de modo que en febrero de 1996 envían una solicitud a Plan Internacional donde piden que se les ayude, para realizar un proyecto comunitario sobre iluminación fotovoltaica; la solicitud es firmada por 49 personas. La comunidad La Oscurana se encuentra bajo la cobertura de Plan Internacional, y cuenta con la ventaja de estar organizada por un comité.

8.1.1.1 Información técnico-organizacional

A continuación se dan algunos datos tomados de la prospección técnica y la prospección organizacional.

- Cómo es el acceso a la comunidad: solo en vehículo de doble tracción.
- Población total de la comunidad: 560 personas.
- Familias que conforman la comunidad: 80 familias.
- Familias interesadas en el proyecto: 49 familias.
- Distancia al punto de electrificación más cercano: 10 Km.
- Distancia al mercado más cercano: 10 Km.
- Actividad más importante de la comunidad: agricultura.

- Cuenta con servicio de agua potable: sí.
- Cuenta con letrinas: 30% de la población.
- Tienen puesto de salud: no.
- Tienen escuela, y último grado: 6° grado.
- Qué porcentaje de los adultos saben leer y escribir: 60%
- La comunidad tiene una necesidad real de energía eléctrica: sí.
- Estado de la organización local: comité.
- Existe un aporte comunitario para el proyecto: no, solo se da la cuota de Q 10.00 para la tienda comunal de repuestos, y Q 20,00 mensuales para la reposición de la batería.
- Cuál es la principal fuente de financiamiento para el proyecto: Plan Internacional dona en usufructo los sistemas de iluminación fotovoltaica.
- Fuentes de energía actuales: gas, candelas, baterías.
- Existe una fuente de agua, con potencial hidroeléctrico: no.
- Existe cobertura vegetal: muy poca.
- Características topoclimáticas: Coordenadas: latitud norte: 14°53'54'', longitud oeste: 89°40'05'', altitud: 900 m.s.n.m., temperatura ambiente promedio en el día: 37 °C.
- Describir las condiciones de nubosidad durante el año: Buena parte de tiempo claro.
- Estación meteorológica de referencia para el lugar: La Fragua, Zacapa, región III, clave 220301, latitud 14°57'51'', longitud 89°35'04'', elevación 210 m.s.n.m.
- Promedio de horas-luz: 12
- Promedio de horas-sol: 7.6
- Promedio de horas-pico: 5.88
- Los techos de las casas tienen libre exposición directa al sol: sí.
- Existe experiencia en la comunidad o cerca, con algún sistema fotovoltaico o manejo de baterías de carro: La comunidad vecina San Miguel cuenta con iluminación fotovoltaica.

8.2 Fase de ejecución

8.2.1 Diseño técnico del proyecto

De acuerdo a las prospecciones realizadas, se dimensiona el sistema de I.F.V. de acuerdo al balance energético explicado en el tema 2.5 (capítulo 2).

El consumo recomendado por el especialista de Fundación Solar es el siguiente

Carga	Uso	Tiempo	Potencia
Lámpara No. 1	18:00 a 22:00	4 hora	20 W
Lámpara No. 2	18:00 a 22:00	4 horas	20 W

$$E_c = 20 \text{ W} \times 4 \text{ h} + 20 \text{ W} \times 4 \text{ h}$$

$$E_c = 160 \text{ W-h}$$

El nivel de insolación para los meses desfavorables es aproximado a 5 H-P para el oriente del país (Huité, Zacapa). Las pérdidas en el sistema se representan con un 85%. El sistema se sobredimensiona con un 20%.

$$P_m = \frac{E_c \times F_s}{H-P \times N_{\text{sist}}} = \frac{160 \text{ W-h} \times 1.20}{5 \text{ H-P} \times 0.85} = 45.2 \text{ W}$$

El tiempo de autonomía por la batería es de 4 días para las regiones de buena insolación (Huité, Zacapa). El voltaje nominal de la batería es 12 V. La descarga permisiva para conservar la vida útil de la batería es del 80%.

$$C_b = \frac{A_u \times E_c}{V_b \times f_u} = \frac{4 \text{ d} \times 170 \text{ W-h/d}}{12 \text{ V} \times 0.8} = 66.7 \text{ A-h}$$

La capacidad del control de carga está en función del voltaje y del amperaje máximo de las cargas. Si la carga se conecta toda a un mismo tiempo, la corriente es de $20 \text{ W} / 12 \text{ V} = 1.67 \text{ A}$, y un total de $1.67 \times 2 \text{ cargas} = 3.33 \text{ A}$. Por lo tanto, la capacidad del control de carga no debe ser menor a 3.5 amperios.

Se recomienda usar cable AWG 10 para el trayecto de módulo solar a control y batería, y cable AWG 14 para trayectos de control a las cargas (ver tabla VI). El módulo debe ser orientado de norte a sur, con una inclinación de 15° hacia el sur.

Se concluye en someter a licitud un paquete de I.F.V. de la siguiente manera:

- 1 panel F.V. no menor de 50 vatios, 12 v.
- 1 batería ciclo profundo no menor de 100 A-h, 12 v.
- 1 regulador de carga de 12 v, no menor de 4 A.
- 2 lámparas fluorescentes, 20 W/12 v.

8.2.2 Licitación del proyecto

Las compañías que participan en esta actividad son las siguientes: DINTERSA, BIMEX, LUEX, TECAL, Compañía Agro-Comercial.

Las prioridades evaluadas de las ofertas son: precio, características técnicas, condiciones de pago y tiempo de entrega.

En presencia de la Junta Directiva del comité de la comunidad La Oscurana, los facilitadores de Plan Internacional, el Director de Plan Internacional, y el especialista de Fundación Solar; se elige como ganadora a la empresa LUEX, como segunda opción se toma a la empresa BIMEX, y como una tercera opción se deja a la empresa TECAL.

8.2.3 Contrato

Éste es celebrado en Zacapa, en abril de 1996, participando en éste, Roberto de Paz Paredes, representante legal de la organización de desarrollo PLAN INTERNACIONAL; Manuel Enrique Juárez, presidente de la Junta Directiva del comité de la aldea La Oscurana; y Ludwig Ingram, representante legal de la empresa LUEX.

Se detalla el equipo de iluminación F.V. comprado; incluyendo también la instalación y visitas de seguimiento al proyecto.

49	paneles fotovoltaicos Siemens, M-50 (50 vatios)	\$ 14,945.00
49	baterías especiales Die Hard, 24M (100 A-h)	\$ 3,283.00
49	regulador de voltaje currin/Luex, SHCC12-6PV-10	\$ 1,323.00
98	lámparas con balastro Condumex, LU-20 (12V.,20W.)	\$ 1,470.00
	Sub-total	\$ 21,021.00
	IVA	\$ 2,102.10
	Total	\$ 23,123.10
	equivalente en quetzales con una tasa de cambio Q 6.20/\$1.0	Q143,363.22
980	metros de cable THHN 10	Q 2,303.00
1470	metros de cable SPT 2 x 14	Q 3,675.00
490	metros de Poliducto de ½"	Q 196.00
98	interruptores unipolares Sigma M-2	Q 392.00
49	porta fusibles y fusibles de 10 A.	Q 245.00
22	cajas de grapas de ¾" p/la fijación del cable SPT 2x14	Q 77.00
98	tornillos galvanizados p/la fijación de lámparas	Q 9.80
49	estructuras metálicas p/el montaje de los paneles al poste	Q 2,940.00
49	postes de madera tratada 10 pies	Q 1,715.00
14	cintas de aislar 3M # 33	Q 140.00

• Precio total del sistema fotovoltaico	Q155,056.00
• Costo total de la instalación de los sistemas	Q 5,169.72
• Costo de la capacitación y demostración a los usuarios (sin costo)	
• Costo de las visitas de seguimiento	Q 1,800.00

	Q162,025.74

- Tiempo estimado de entrega: de dos a tres semanas a partir del anticipo.
- Forma de pago: 65% al firmar contrato y 35% al finalizar la instalación.

Estando todos en común acuerdo, firman el contrato las tres personas arriba mencionadas.

8.3 Fase de post-ejecución

8.3.1 Auditoría técnica de la instalación

Esta se realiza por el Ing. Otto Raul de León, especialista en iluminación fotovoltaica de Fundación Solar. Encuentran todo en buen estado, sistemas instalados y operando tal como se especifica en el contrato. El especialista presenta el informe aprobado a Plan Internacional y Plan procede a pagar el 35% restante a la empresa.

8.3.2 Informe actual

Esta información es actual y tomada durante el desarrollo de la tesis, enfoca las bases en las que descansa la sostenibilidad del proyecto y un reporte técnico de los sistemas de I.F.V.

- Está en función la Junta Directiva del comité de vecinos de la comunidad: Sí. Funciona actualmente con cinco miembros porque dos renunciaron al cargo, éstos son: vocal 1 y secretario.
- Funciona la tienda de repuestos: esta funcionó durante dos años.
- Funciona el subcomité de mantenimiento: sí.
- Se recolecta el dinero para la reposición de la batería: inicialmente la mayoría lo hizo, luego dejaron de hacerlo todos. El dinero recolectado no se ha devuelto, porque Plan pretende utilizarlo para un proyecto futuro para la misma comunidad, pero la gente amenaza al comité por no entregarlo.
- Está contenta la gente con el proyecto de I.F.V. : el 40% está descontenta, porque los sistemas fallaron muy luego y quieren devolverlos.

Tabla XIX. Evaluación de los sistemas de I.F.V. de La Oscurana

No	Nombre	Panel		Control	Batería voltaje
		Limpieza	Orientación Radiación		
1	Alberto García	buena	correcta poca sombra	funciona	10.4
2	Escuela Oscurana	buena	correcta no sombras	no hay	4.2
3	Cristino Morales	buena	20°NE no sombras	funciona	11.6
4	Mario Zacarías	no se encontró a ninguno			
5	Julio Juárez	buena	30°NE no sombras	funciona	12.5
6	Alberto Juárez	buena	correcta no sombras	no hay	11.2
7	Juan Bautista	buena	correcta no sombras	funciona	11.8
8	Anacleto Ramírez	buena	40°NE no sombras	no hay	10.1
9	Héctor Juárez	buena	10°NO no sombras	funciona	11.2
10	Cristino Sánchez	buena	15°NE poca sombra	funciona	12.4
11	Joaquín Juárez	buena	correcta no sombras	funciona	12.5
12	Humberto Juárez	buena	correcta no sombras	funciona	12.0
13	Rodrigo Juárez	buena	10°NO no sombras	funciona	12.2

14	Elmer Juárez	buena	correcta	no sombras	funciona	11.8
15	Efraín García	buena	10°NE	no sombras	funciona	11.6
16	Manuel Juárez	buena	15°NO	no sombras	funciona	9.5
17	Leonel Juárez	buena	8°NO	no sombras	funciona	12.8
18	Bartolomé Juárez	buena	correcta	no sombras	funciona	12.1
19	Mercedes García	no se encontró a ninguno				
20	Pedro Martínez	buena	correcta	no sombras	funciona	12.8
21	José Martínez	buena	10°NE	no sombras	funciona	12.4
22	Domingo Nones	buena	correcta	no sombras	funciona	13.2
23	Leonardo Martínez	buena	correcta	no sombras	funciona	11.9
24	Santos Pérez	buena	7°NO	no sombras	funciona	12.5
25	Abelardo Acevedo	buena	7°NO	no sombras	funciona	11.8
26	Hugo Juárez	buena	correcta	poca sombra	funciona	10.9
27	Carlos Álvarez	no se encontró a ninguno				
28	Gustavo Romero	buena	correcta	no sombras	funciona	11.5
29	Gustavo Lorenzo	mala	10°NE	no sombras	no hay	12.0
30	Francisco Pérez	buena	correcta	no sombras	funciona	12.0
31	Juan Juárez	buena	25°NE	no sombras	funciona	11.7
32	José García	buena	correcta	no sombras	funciona	11.3
33	Maido García	buena	correcta	no sombras	funciona	11.8
34	Mariano Acevedo	buena	8°NO	no sombras	funciona	12.8
35	Baldomero Pérez	buena	15°NO	poca sombra	funciona	12.3
36	José Pérez	buena	correcta	no sombras	funciona	12.7
37	José Morales	buena	correcta	no sombras	funciona	12.4
38	Mariano Juárez	buena	correcta	no sombras	funciona	12.8
39	Arnulfo Juárez	buena	5°NE	no sombras	funciona	3.1
40	Francisco Acevedo	no se encontró a ninguno				
41	Gustavo Juárez	buena	5°NO	no sombras	funciona	12.0
42	Jorge Juárez	buena	correcta	poca sombra	no hay	9.6
43	Roberto Juárez	buena	12°NE	no sombra	funciona	11.2
44	Constantino Acevedo	buena	20°NO	no sombra	funciona	12.6
45	Roselia Ramírez	buena	correcta	poca sombra	funciona	11.7
46	José F. Gonzales	buena	correcta	no sombra	funciona	11.9
47	José M. Gonzales	buena	8°NE	no sombra	funciona	11.5
48	Gregoria García	buena	correcta	no sombra	funciona	11.8
49	Esc. Manzanotillo	buena	20°NO	no sombra	no hay	6.2

Tabla XX. Evaluación de los sistemas de I.F.V. de La Oscurana

No	Batería		2 lámparas de 20 W c/u				Vida prom. actual de tub
	Nivel elect.	Limpieza	T.Q.	T.N.	T.C.	B.C.	
1	normal	regular	0	2	25	0	1 semana
2	bajo	mala	2	0	no se conoce información		
3	bajo	regular	2	0	10	1	3 semanas
4	no se encontró a ninguno						
5	normal	regular	0	2	12	0	4 meses
6	normal	buena	0	2	10	1	3 meses
7	normal	buena	1	1	8	0	15 días
8	normal	regular	1	1	12	1	8 días
9	bajo	regular	2	0	16	0	2 semanas
10	alto	mala	1	0	2	0	6 meses
11	normal	regular	1	0	8	0	4 meses
12	bajo	mala	2	0	8	1	2 meses
13	normal	buena	2	0	15	1	2 semanas
14	normal	buena	1	1	6	0	3 meses
15	bajo	mala	2	0	12	0	3 semanas
16	normal	buena	0	2	10	1	15 días
17	normal	buena	2	0	4	1	4 meses
18	bajo	regular	2	0	8	0	2 semanas
19	no se encontró a ninguno						
20	alto	regular	0	1	8	0	4 meses
21	normal	buena	0	2	5	0	5 meses
22	normal	buena	0	1	5	1	4 meses
23	alto	regular	1	0	9	0	1 mes
24	normal	buena	0	1	4	0	6 meses
25	alto	buena	1	0	12	0	15 días
26	bajo	regular	2	0	15	1	1 semana
27	no se encontró a ninguno						
28	bajo	mala	2	0	9	1	1 semana
29	normal	regular	2	0	8	0	12 días
30	normal	buena	0	0	3	0	6 meses
31	normal	regular	1	1	8	0	1 mes
32	bajo	regular	2	0	16	1	15 días
33	bajo	mala	2	0	20	0	8 días
34	alto	regular	0	1	6	0	5 meses
35	normal	buena	1	1	8	0	3 meses
36	bajo	mala	2	0	15	1	8 días
37	normal	buena	0	2	4	0	4 meses

38	normal	regular	1	0	6	1	2 meses
39	bajo	mala	2	0	10	0	15 días
40	no se encontró a ninguno						
41	normal	buena	0	1	8	0	2 meses
42	bajo	regular	2	0	10	1	15 días
43	normal	regular	2	0	8	0	15 días
44	alto	buena	0	1	4	0	5 meses
45	normal	buena	1	1	8	0	2 meses
46	normal	mala	2	0	12	1	1 semana
47	normal	regular	1	1	15	1	1 mes
48	bajo	buena	1	0	6	0	3 meses
49	bajo	mala	2	0	no se conoce información		
Total:			51	25	408	16	

Resultados de los sistemas inspeccionados:

- 45 paneles con buena limpieza visual.
- 18 paneles desorientados respecto al eje polar.
- 6 paneles con poca obstrucción a la ventana solar.
- 5 controles de carga dañados.
- 51 tubos quemados (T.Q.).
- 25 tubos negros de los extremos (T.N.).
- 408 tubos cambiados (T.C.).
- 16 balastros cambiados (B.C.).
- 19 sistemas fuera de servicio (2 T.Q.) = 42.22%
- 13 sistemas con una lámpara fuera de servicio (1 T.Q.) = 28.89%
- 13 sistemas con sus dos lámparas en servicio (0 T.Q.) = 28.89%

CONCLUSIONES

1. El proyecto de la aldea San Miguel posee la mejor orientación de los paneles respecto al eje polar; solo 9 paneles (27.27%) no coinciden con el eje polar. El panel de mayor ángulo de desviación polar, 20°NE, se debe a que el sistema fue trasladado de una vivienda a otra. Esta instalación no fue realizada por DINTERSA, sino por el presidente del comité de vecinos de San Miguel.
2. Existen 15 sistemas (45.45%) en San Miguel trabajando sin control de carga, no porque esté dañado, sino porque interrumpe la energía cuando el voltaje de la batería desciende al punto de desconexión (LVD). Para evitar quedarse sin luz por las noches, anulan el control de carga, descargando la batería más de lo establecido. Este problema también acontece en El Jute, pero a un nivel mayor (53.33%).
3. La aldea de El Jute es la que menos tubos ha cambiado, solo 35 (38.89%) fueron reemplazados por nuevos. Hay 10 sistemas (33.33%) que no han quemado tubos, todavía trabajan con los tres tubos de instalación.
4. El Jute cuenta sólo con dos sistemas (6.67%) fuera de servicio, y con 16 sistemas (53.33%) con sus tres lámparas en servicio; siendo estos porcentajes mejores que los proyectos de San Miguel y La Oscurana.

5. La Oscurana es el proyecto más reciente, pero presenta los mayores problemas en sus sistemas. Se han reemplazado 408 tubos quemados (453.33%), debido a la corta vida que presentan; también han cambiado 16 balastos (17.78%). Cuando la batería pierde su capacidad de carga y aporta menos de 12V a las lámparas, los tubos producen una luz muy tenue, se ennegrecen rápido de sus extremos y se queman rápidamente los tubos. Los balastos al trabajar con bajo voltaje, elevan su corriente de operación por arriba de la nominal, produciendo mucho calentamiento, y por consecuencia la quema de los mismos.
6. La Oscurana cuenta con 19 sistemas (42.22%) fuera de servicio, y con 13 sistemas (28.89%) con sus dos lámparas en servicio. Al comparar estos porcentajes con los proyectos de San Miguel y El Jute, se evidencia que el proyecto La Oscurana es el más deficiente.
7. Los proyectos de iluminación fotovoltaica presentan conveniencia técnica ante la electrificación convencional. La prospección técnica del proyecto no es difícil ni demasiado larga, el dimensionamiento eléctrico de cada sistema es rápido y repetitivo para todos los participantes del proyecto y la instalación de cada sistema lleva alrededor de medio día de trabajo. Son una solución económica, únicamente si se respetan los acuerdos firmados, descritos en los anexos 2 y 3.
8. De acuerdo a los informes actuales tomados de las tres aldeas, los sistemas fotovoltaicos fallan a medida que se termina la vida útil de la batería. Las personas dejan de ahorrar para la reposición de la batería, y no tienen dinero para comprar otra, funcionando ineficientemente los sistemas hasta llegar a un fallo total. Las tiendas comunales de repuestos están cerradas a excepción de una aldea, lo cual sumado a lo primero garantizan la quiebra de estos proyectos en su futuro.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se desea trasladar un sistema de iluminación fotovoltaica a otra vivienda, debe instalarse el panel solar por experto en el ramo. Debe contarse con el equipo citado en el tema 2.6, darle la adecuada orientación e inclinación al panel, conectar las polaridades correctas, conexiones limpias y apretadas, y también con el cuidado de no golpear la batería.
2. Los sistemas de iluminación fotovoltaica utilizados en los proyectos de San Miguel y El Jute, cuentan con controles de carga que protegen las baterías de las descargas profunda, ésto se consigue por medio de desconexión por bajo voltaje (función LVD del control). Anular el control significa descargar la batería más de lo aconsejable. El otro extremo a considerar es durante los periodos de carga de la batería, carecer del control de carga hace cargarla más de lo debido. Estas dos actividades reducen considerablemente la vida útil de las baterías, por lo tanto, no se debe anular el control de carga, y tampoco destaparlos para modificar sus parámetros.
3. Si se quiere prolongar la vida útil de los tubos y balastos se deben hacer algunas correcciones; limpiar y fijar correctamente los extremos de los tubos en las lámparas, evitar el uso de lámparas por menos de 20 minutos, limpiar la corrosión en los bornes de la batería, y por último evitar la anulación de los controles de carga.

4. El nivel del electrolito debe mantenerse a 13 mm por encima de las placas de la batería, y agregarle agua destilada cuando la batería alcance su estado de carga. Inspeccionar el nivel del electrolito cada tres semanas, y evitar el error de supervisarlas sólo cada dos meses, como lo hace algunos de los usuarios. Otras medidas de mantenimiento de baterías son; limpiar el electrolito derramado con una solución de bicarbonato de sodio y agua, agregar grasa anticorrosiva en la parte externa de los conectores y una conexión apretada en los conectores.
5. La medida más importante para restablecer el buen funcionamiento de los sistemas de iluminación fotovoltaica de La Oscurana es cambiar la batería. El proyecto de San Miguel es el primero ejecutado, y sus baterías presentan los voltajes más altos. Se aconseja comprar baterías Trojan, ciclado profundo 27-TM, 105 Amp-horas, 12 V.
6. Evitar trabajar en comunidades con pocos recursos económicos porque carecen del dinero para aportar en el proyecto de iluminación fotovoltaica, ahorrar en la reposición de batería, el mantenimiento, y aun para pagar un crédito. Las comunidades deben aportar un 25% en la compra de estos sistemas; con esto se evitaría que los regalen, vendan o les den mal mantenimiento.

FUENTES

- BIMEX, compañía de venta e instalación de equipo en electricidad solar.
- DINTERSA, compañía de venta e instalación de equipo en electricidad solar.
- Fundación Solar, Guatemala.
- INSIVUMEH
- Junta Directiva del Comité de Vecinos de El Jute, Huité, Zacapa.
- Junta Directiva del Comité de Vecinos de La Oscurana, Huité, Zacapa.
- Junta Directiva del Comité de Vecinos de San Miguel, Huité, Zacapa.
- LUEX, compañía de venta e instalación de equipo en electricidad solar.
- Plan Internacional, Cabañas, Zacapa.
- Plan Internacional, Gualán, Zacapa.
- Plan Internacional, Zacapa, Zacapa.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, Virgilio y otros. **Curso de física moderna**. Reimp., México : Editorial HARLA, 1988.
2. ASKELAND, Donald. **La ciencia e ingeniería de los materiales**. México : Editorial Grupo Editorial Iberoamérica, 1987.
3. AZURDIA Bravo, Iván. **El modelo para electrificación rural de la Fundación Solar**. Guatemala : s.e., 1996.
4. AZURDIA Bravo, Iván. **Tecnología energética**. Guatemala : s.e., 1997.
5. BEISER, Arthur. **Conceptos de física moderna**. 2a. ed., reimp., México : Editorial McGRAW-HILL, 1981.
6. BOYLESTAD, Robert y Louis Nashelsky. **Electrónica**. 4a. ed., México : Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, 1989.
7. CONDUMEX. **Los sistemas solares fotovoltaicos**. México : s.e., s.a.
8. CORPORACIÓN de energía arquitectónica y laboratorios nacionales Sandia. **Mantenimiento y operación de los sistemas fotovoltaicos**. U.S.A. : s.e., 1991.
9. DICCIONARIO enciclopédico de términos técnicos. U.S.A. : Editorial McGRAW-HILL, 1980.
10. DIRECCIÓN general de fuentes nuevas y renovables de energía. **Fundamentos sobre el aprovechamiento solar en Guatemala**. Guatemala : s.e., 1992.
11. PHOTOCOMM. "Guía de diseño para electricidad solar" **Sistemas de potencia para energía solar**. (U.S.A.), (3) : 10-22. 1991.
12. GODÍNEZ, Guillermo Ariel. **Análisis preliminar sobre radiación y brillo solar en Guatemala**. Guatemala : s.e., 1995.
13. LABORATORIOS nacionales Sandia. **Talleres sobre baterías y controladores de carga para sistemas fotovoltaicos**. U.S.A. : s.e., 1994.

14. **MALVINO, Albert Paul. Principios de electrónica. 2a. ed., México : Editorial McGRAW-HILL, s.a.**
15. **MILLMAN, Jacob y Christos Halkias. Electrónica integrada. 5a. ed., España : Editorial Hispano Europea, 1983.**
16. **WIDES, Laura. La evolución de los proyectos comunitarios. Guatemala : s.e., 1997.**

ANEXO 1

CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LAS COMUNIDADES PARA PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL FOTOVOLTAICA

Criterios técnicos

- Distancia de la red: se recomienda poblaciones ubicadas a más de 5 kms. de la red.
- Distancia en casa: se recomienda distancia de 100 metros o más.
- Consumo energético bajo: de 6 a 8 kw-hora/mes.
- Buena insolación: que la comunidad potencial tenga no menos de 5 H-P de sol al día.
- Preferentemente que haya realizado solicitud de electrificación rural ante el INDE.

Criterios sociales

- Necesidad sentida del recurso iluminación.
- Que la comunidad esté representada a través de un comité u otro tipo de organización.
- Comité activo: con deseos de participar en la ejecución del proyecto.
- Que por lo menos dos miembros del comité sepan leer y escribir.
- Que los miembros del comité estén dispuestos a asumir la responsabilidad de los sistemas fotovoltaicos que se instalen en la comunidad.
- Dispuestos a recibir capacitación y asistencia técnica.

- Acepten las condiciones de participación en el proyecto de iluminación fotovoltaica, establecidos en los convenios respectivos.
- Comité con capacidad para elaborar su proyecto de iluminación fotovoltaica para ser presentado a Plan Internacional para su estudio y aprobación o denegación.
- Que la comunidad tenga capacidad de ahorro a baja escala.

Criterios de selección de familias

- Que acepten las condiciones establecidas para participar en el proyecto
- Que radiquen permanentemente en la comunidad y que sean propietarios de las viviendas que habitan.
- Dispuestos a participar o que hayan participado activamente en la ejecución de proyectos de desarrollo comunal.
- Dispuestos a aportar para conformar el fondo semilla para la tienda comunal.
- Dispuestos a ahorrar para la reposición de la batería del sistema.
- Dispuestos a aceptar en usufructo el sistema de iluminación fotovoltaico.
- Que las familias solicitantes estén dispuestas a utilizar los sistemas fotovoltaicos para el beneficio familiar.
- Cualquier otro criterio que el comité estime conveniente para el buen uso de los sistemas de iluminación.
- La vivienda de las familias solicitantes deberá estar sujeta a los requerimientos técnicos establecidos.
- Que las familias solicitantes acepten la autoridad del comité en la administración del proyecto de electrificación con sistemas fotovoltaicos.

ANEXO 2

CONVENIO SUSCRITO ENTRE EL COMITÉ DE DESARROLLO COMUNAL Y FAMILIAS A SER BENEFICIADAS POR EL PROYECTO DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA

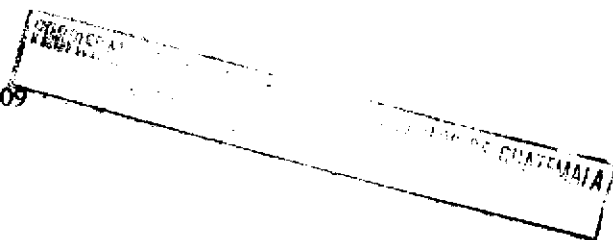
Objetivo

Establecer formalmente las condiciones de participación en un proyecto de iluminación fotovoltaica de las familias de una comunidad y los derechos y obligaciones del comité de desarrollo para con dichas familias.

Obligaciones del comité de desarrollo con los miembros de la comunidad

- Informales oportunamente sobre los avances del proyecto.
- Convocar a asambleas generales a la comunidad para tratar asuntos de interés general relacionados con el proyecto.
- Apoyar en la capacitación y concientización de los usuarios en los sistemas fotovoltaicos.
- Recolectar el fondo semilla que asciende a diez quetzales por familia.
- Con el fondo semilla, crear y administrar la tienda de repuestos y accesorios para sistemas fotovoltaicos.

- Recolectar oportunamente las cuotas por reposición de baterías de cada familia participante en el proyecto fotovoltaico y administrarlas adecuadamente.
- Informar detalladamente sobre las condiciones de participación en un proyecto de iluminación fotovoltaica.
- Organizar a la comunidad para que ofrezcan apoyo a la empresa instaladora de los sistemas fotovoltaicos.
- Que por lo menos dos miembros del comité o dos miembros de la comunidad nombrados por el comité, participen activamente en la instalación de los sistemas y conformen el subcomité de mantenimiento.
- Designar a, por lo menos, dos miembros del comité o dos miembros de la comunidad nombrados por el comité, para que reciban la capacitación técnica para el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos.
- Exigir el adecuado uso y mantenimiento de los sistemas.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones que adquieren las familias beneficiadas establecidas dentro del presente convenio.
- Apoyar al personal de Plan Internacional y la Fundación Solar en todas las actividades de capacitación y asistencia técnica relacionadas con el proyecto.
- Llevar controles contables mínimos que demuestren la adecuada administración de los recursos económicos de la tienda de repuestos y accesorios y del fondo para reposición de batería.
- Informar a Plan Internacional sobre los problemas que se presenten en la ejecución del proyecto, solicitando su apoyo y asesoría.
- Notificar, en forma escrita, a Plan Internacional cuando la comunidad por cualquier razón ya no necesite los sistemas fotovoltaicos. En el caso que Plan ya no esté en el departamento y el proyecto tenga menos de cinco años de funcionamiento, esta notificación se deberá hacer a la Fundación Solar.
- Entregar a cada familia un recibo firmado y sellado por cada pago por reposición de batería que realice mensualmente.



Derechos del comité ante los miembros de la comunidad

- Exigir el pago oportuno de las cuotas por reposición de baterías.
- Recibir el apoyo y colaboración de todas las familias beneficiadas en la ejecución de cualquier actividad relacionada con el proyecto fotovoltaico.
- Convocar a sesiones de información y coordinación del proyecto fotovoltaico.

Obligaciones de las familias ante el comité

- Colaborar con el comité en la elaboración del censo de caracterización de las viviendas.
- Asistir puntualmente a las sesiones convocadas por el comité.
- Participar en los cursos de capacitación que realice la Fundación Solar y Plan.
- Velar porque el comité se mantenga integrado y activo.
- Colaborar con la empresa encargada de instalar los sistemas.
- Pagar puntualmente sus cuotas por reposición de baterías.
- Aportar la cantidad de diez quetzales para la conformación del fondo semilla.
- Aceptar las condiciones de usufructo y no donación de los sistemas fotovoltaicos.
- Dar mantenimiento oportunamente al equipo que conforma el sistema principalmente limpieza del colector y reposición del agua gastada en las baterías.
- Dar uso adecuado al equipo, de acuerdo a las especificaciones técnicas que se le hayan trasladado.
- No hacer instalaciones adicionales y no sobrepasar el tiempo de uso de las cargas.
- Hacerse responsable ante el comité de cada uno de los elementos que conforman un sistema fotovoltaico.
- Devolver al comité el sistema fotovoltaico, en caso la familia decida trasladarse a otra comunidad.
- No vender, ceder o prestar el sistema por ninguna circunstancia.

- No solicitar la devolución de las cuotas por reposición de baterías, ya que las mismas constituyen una aportación para garantizar la sostenibilidad del proyecto.
- No permitir que personas ajenas a la compañía instaladora, Plan Internacional o la Fundación Solar alteren, modifiquen o sustituyan cualquier parte del sistema.
- Utilizar los servicios de la tienda de repuestos y accesorios de la comunidad.
- Firmar el presente convenio.

Derechos de las familias ante el comité

- Ser notificados con la debida anticipación, sobre las reuniones o asambleas relacionadas con el proyecto fotovoltaico.
- Ser informados de los avances en el proceso de ejecución del proyecto.
- Ser debidamente informados sobre las condiciones de participación en el proyecto, fundamentalmente en lo relacionado con las obligaciones que adquieren.
- Solicitar estados de cuenta de sus pagos por reposición de baterías.
- Recibir la capacitación mínima necesaria para hacer un buen uso y mantenimiento de los sistemas.
- Ser atendidos por el comité, en sus quejas, dudas o problemas en el funcionamiento del sistema.

Contingencias

- **PROPIEDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.** En el caso que una familia haya hecho un uso adecuado de los sistemas y cumplido responsablemente con todas las obligaciones descritas anteriormente, después de transcurridos cinco años de su instalación, el sistema pasará a ser propiedad de la familia beneficiaria.
- **RETRASO EN PAGO DE CUOTAS.** Si una familia deja de pagar tres cuotas en forma consecutivas por reposición de batería, el comité deberá notificarle por escrito que el sistema será recogido y trasladado a otra familia que esté interesada.

- **FONDO POR REPOSICIÓN DE BATERÍA.** Las cuotas que conforman este fondo no son reembolsables por ninguna circunstancia y su destino específico es la reposición de baterías de sistemas fotovoltaicos.
- **MAL USO Y MANTENIMIENTO.** Cuando el comité establezca que una familia está haciendo conexiones adicionales al sistema y no están dando un mantenimiento adecuado, se le notificará en forma escrita al responsable de la familia, y se le dará un plazo de un mes para corregir estas anomalías. En caso de persistir el problema, se hará una segunda notificación y se retirará el sistema inmediatamente.
- **DESASTRES NATURALES.** En caso de cualquier desastre natural (terremoto, inundaciones, incendios, rayos y huracanes), ni el comité, ni Plan Internacional se hará responsable por la reposición de los sistemas y el usuario quedará excepto de responsabilidades.
- **ROBOS O PÉRDIDAS.** En caso que un usuario sea sujeto de robo de cualquier parte del sistema, el comité hará una minuciosa investigación para establecer la no culpabilidad de la familia. En caso contrario, el comité deberá solicitar a la familia el pago del valor de las partes perdidas.
- **ELECTRIFICACIÓN CONVENCIONAL.** En caso de que una comunidad con sistemas fotovoltaicos, tenga la oportunidad de electrificarse por sistema convencional y se han utilizado por menos de cinco años, el comité está en la obligación de notificarlo a las autoridades de la Fundación Solar para que se proceda al retiro de todos los sistemas.

Nombre de la comunidad: _____

Nombre del Presidente del Comité: _____

Fecha de suscripción del convenio: _____

Firma del Presidente del
Comité

Firma del Beneficiario

ANEXO 3

CONVENIO SUSCRITO ENTRE EL COMITÉ DE DESARROLLO Y PLAN INTERNACIONAL PARA LA EJECUCIÓN DE UN PROYECTO DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA

Objetivo del convenio

Establecer formalmente obligaciones y derechos tanto del comité de desarrollo como de Plan Internacional para la ejecución y seguimiento de un proyecto de iluminación con sistemas fotovoltaicos.

Beneficiarios del proyecto

Serán beneficiarios del proyecto todos aquellos vecinos de la comunidad que radiquen permanentemente en ella y estén dispuestos a aceptar formalmente las condiciones de participación.

Obligaciones ante Plan Internacional

- Ser responsables del funcionamiento y administración del proyecto de iluminación fotovoltaica.

- **Fondo semilla:** el comité será el responsable de recolectar la cantidad de diez quetzales por familia interesada en participar en el proyecto, para la conformación de una tienda comunal de repuestos y accesorios para los sistemas fotovoltaicos.
- **Capacitación:** todos los miembros del comité deberán estar dispuestos a participar en todas las actividades de capacitación relacionadas con el proyecto.
- El comité deberá realizar un censo y caracterización de las viviendas de las familias interesadas en participar en el proyecto y presentarlas al facilitador de Plan Internacional.
- Convocar a reuniones de cualquier naturaleza (información, asamblea general, capacitación, etc.) relacionadas con el proyecto.
- Organizar a los beneficiarios del proyecto para que colaboren ampliamente con la empresa que realice la instalación de los sistemas, principalmente en el transporte de los equipos desde el punto vial más cercano y accesible en vehículo hasta la comunidad.
- **Fondo de reposición de la batería.** El comité será el responsable de recolectar oportunamente las cuotas del fondo de reposición de la batería, para lo cual extenderá al usuario, un recibo debidamente firmado y sellado por el comité.
- Apertura de una cuenta de ahorros en la agencia bancaria más cercana o bien en la cooperativa de ahorro y crédito más próxima, para resguardar todas las aportaciones del fondo para reposición de baterías.
- Administrar la tienda comunal de repuestos y accesorios, planificando las compras y llevando controles contables mínimos necesarios para mantener un adecuado orden.
- Servir de canal de comunicación entre los beneficiarios del proyecto y Plan Internacional.
- Velar por el buen uso y mantenimiento de los sistemas, a través del sub-comité de mantenimiento, conformado por dos miembros del comité o de la comunidad.
- Velar por que los usuarios cumplan sus obligaciones contenidas dentro del convenio firmado con el comité.

- Nombrar dos delegados miembros del comité, para que formen parte de la comisión evaluadora de propuestas para la ejecución del proyecto.
- Suscribir un contrato con la empresa seleccionada para la instalación de los sistemas fotovoltaicos.
- Previo al inicio de la instalación de los sistemas en la comunidad, el comité deberá presentar a Plan Internacional, fotocopias de los convenios firmados entre cada una de las familias beneficiadas y el comité de desarrollo comunal.

Derechos del comité ante Plan Internacional

- Recibir oportunamente las notificaciones de decisiones que Plan Internacional tome en relación a la posibilidad o no de ejecutar un proyecto fotovoltaico.
- Recibir apoyo por parte de Plan Internacional, para la cotización, recepción y evaluación de las ofertas de empresas interesadas en vender e instalar los sistemas fotovoltaicos.
- Recibir de Plan Internacional; apoyo en la elaboración del contrato entre el comité y la empresa seleccionada.
- Recibir de Plan, apoyo técnico y organizacional durante todas las fases del proyecto.
- Exigir que la compañía instaladora, cumpla con todos los compromisos establecidos dentro del contrato respectivo.

Obligaciones de Plan Internacional

- Facilitar los recursos económicos y técnicos para la ejecución de un proyecto de iluminación fotovoltaica, siempre y cuando la comunidad haya satisfecho los criterios de selección técnica y social.
- Brindar asesoría técnica y capacitación al comité en todo el proceso de gestión del proyecto.
- Supervisar oportunamente la adecuada ejecución en todas las fases del proyecto.

- Velar porque el comité cumpla con sus obligaciones ante los usuarios y ante Plan Internacional en todo lo relacionado con el proyecto

Derechos de Plan Internacional

- Requerir la devolución de los sistemas en caso de que el comité haya establecido el mal uso por parte de cualquier familia.
- Exigir al comité que cumpla con todas las obligaciones contenidas en el presente convenio.
- Exigir al comité que se mantenga organizado, activo y responsable del proyecto fotovoltaico.
- Realizar actividades de seguimiento, supervisión y evaluación de los proyectos en funcionamiento.
- Recibir una copia del contrato firmado entre el comité y la empresa seleccionada para la instalación de los sistemas.
- En caso de establecer anormalidades en cualquier etapa del proyecto, Plan Internacional tendrá el derecho de suspender la ejecución del mismo.

Nombre de la comunidad: _____

Nombre del Presidente del Comité: _____

Fecha de suscripción del convenio: _____

Firma del Presidente del Comité
de Desarrollo

Firma del Director de Plan
Internacional